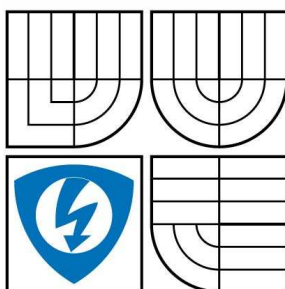


**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKACNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ**

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS**

# **MOŽNOSTI PŘIPOJENÍ K INTERNETU PO STÁVAJÍCÍCH ROZVODECH KABELOVÉ TELEVIZE**

**INTERNET CONNECTION VARIANTS USING PRESENT TV CABLE WIRING**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. MICHAL LUKÁČ**

**VEDOUcí PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. PETER STANČÍK**

BRNO 2009

## **Anotace**

Práce pojednává o datových přenosech po stávajících rozvodech kabelové televize. K realizaci daného projektu byla vybrána zařízení PLC. Rozebíraná je problematika vícetónových modulací a blíže byla popsána modulace OFDM, kterou daná zařízení využívají. Dále byl popsán postup integrace zařízení PLC na kabelovou síť, úpravy kabelové sítě a základní topologie vytvořených datových sítí. Bylo nahlédnuto na PLC modem a Head End od firmy Corinex, které byly použity při realizaci datové sítě ve vybrané obci. Také jsem zde uvedl úskalí kabelových vedení při tomto druhu datových přenosů a řešení některých vzniklých problémů. V reálném provozu byly potom testované parametry vytvořené sítě. Byly změřeny přenosové rychlosti na fyzické a transportní vrstvě a dále pak SNR jednotlivých spojení a útlum signálu. Měření potvrdily vhodnost použití PLC zařízení na přenos dat po kabelových sítích - co se týče přenosové rychlosti, ale také dosahu. Jako příloha je uvedená mapa kabelové televize s vyznačením umístění PLC zařízení ve vybrané kabelové síti.

Klíčová slova: PLC, Corinex, Kabelová televize, OFDM modulace, SNR Připojení k internetu.

## **Abstract**

This dissertation examines data transfers along the existing lines of cable TV. PLC equipment has been selected as the focus of this examination. The essay examines the question of Multicarrier modulation and focuses more specifically onto the problem of OFDM modulation, which is being used by the selected equipment. It further describes the process of integration of PLC equipment into the cable TV network, modifications of the CATV and the basic topology of the created data networks. The essay also offers a closer look onto a PLC modem and Head End from Corinex that have been used in the implementation of a data network in a selected rural settlement. The author has also raised the issue of the problems connected with cable wires connected with this particular type of data transfers and the solutions of some of the encountered problems. The characteristics of this network have then been measured during normal operation of the created network. Measurements have been carried out in order to determine the transfer speed on a physical and transfer level, the SNR of specific connections and the signal attenuation. The measurements have confirmed the suitability of the used PLC equipment for the purposes of data transfer along the cable TV lines as far as data speed and signal strength was concerned. A map of the particular cable TV lines and the PLC equipment has been included in the attachment.

Key words: PLC, Corinex, CATV, OFDM modulation, Internet connection, SNR.

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma “Možnosti připojení k internetu po stávajících rozvodech kabelové televize“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto projektu jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne .....

.....  
podpis autora

# Obsah

<b>ÚVOD .....</b>	<b>11</b>
<b>1 MOŽNOSTI PRIPOJENIA INTERNETU V KÁBLOVEJ SIETI .....</b>	<b>12</b>
1.1 ŠTANDARD DOCSIS.....	12
1.2 PRIPOJENIE INTERNETU S VYUŽITÍM ZARIADENÍ PLC.....	14
1.2.1 <i>História prenosu dát po energetickej sieti.....</i>	<i>14</i>
<b>2 MODULÁCIE.....</b>	<b>15</b>
2.1 PREHĽAD MODULÁCIÍ S VIACERÝMI NOSNÝMI FREKVENCAMI.....	15
2.1.1 <i>Vlastnosti OFDM modulácie .....</i>	<i>16</i>
<b>3 PRENOSOVÁ SÚSTAVA V CATV SO ZARIADENIAMÍ PLC.....</b>	<b>17</b>
3.1 PASÍVNE PRVKY KÁBLOVEJ TELEVÍZIE .....	18
3.1.1 <i>Pasívne televízne rozbočovače .....</i>	<i>18</i>
3.1.2 <i>Pasívne televízne odbočovače .....</i>	<i>19</i>
3.1.3 <i>Pasívny prvok duplex 30/47.....</i>	<i>20</i>
3.1.4 <i>Injekčný bod DF30/47i.....</i>	<i>20</i>
3.2 PRIMÁRNA TRASA KÁBLOVEJ TELEVÍZIE .....	21
3.3 SEKUNDÁRNA TRASA KÁBLOVEJ TELEVÍZIE .....	21
3.3.1 <i>Premostenie zosilňovačov.....</i>	<i>22</i>
3.4 TERCIÁRNA TRASA.....	23
<b>4 VÝBER ZARIADENÍ VHODNÝCH PRE PRENOS CEZ CATV.....</b>	<b>23</b>
4.1 KÁBLOVÝ MODEM CORINEX AV 200 CABLELAN.....	24
4.2 ODLIŠNOSTI AV200 CABLELAN OD AV200 POWERLINE .....	26
4.3 PRENOSOVÉ PÁSMA V SYSTÉME AV200 .....	27
4.4 VÝPOČET PRENOSOVEJ RÝCHLOSTI SYSTÉMU .....	29
4.5 KONFIGURÁCIA MODEMU .....	30
4.5.1 <i>Konfigurácia pomocou webového prehliadača.....</i>	<i>30</i>
4.5.2 <i>Autokonfigurácia stiahnutím konfiguračného súboru z TFTP servera. ....</i>	<i>30</i>
4.6 HEAD END FIRMY CORINEX .....	31
4.7 MOŽNOSTI NASADZOVANIA PLC SYSTÉMU .....	32

<b>5 PROJEKTOVÁ REALIZÁCIA .....</b>	<b>36</b>
5.1 VÝBER LOKALITY .....	36
5.2 POPIS STAVU KÁBLOVEJ SIETE .....	36
5.3 POPIS NAVRHOVANEJ DÁTOVEJ SIETE .....	36
5.3.1 Prvý skúšobný návrh dátovej siete .....	37
5.3.2 Finálny návrh dátovej siete .....	37
5.4 MOŽNÉ PROBLÉMY SPOJENÉ S INŠTALÁCIU KÁBLOVÉHO MODEMU .....	38
5.4.1 Napojenie domovej prípojky z testovacieho výstupu zosilňovača .....	38
5.4.2 Vysoký útlm prípojok umiestnených tesne za televíznym zosilňovačom .....	39
5.4.3 Výmena televíznej zásuvky.....	39
5.4.4 Použitie necertifikovaných prvkov káblovej siete.....	40
5.5 TESTOVANIE A MERANIE PARAMETROV VYTVORENEJ DÁTOVEJ SIETE A OVERENIE FUNKČNOSTI .....	40
5.5.1 Testovanie pomocou protokolu Telnet.....	41
5.5.2 Testovanie pomocou webového prehliadača.....	41
5.5.3 Testovanie pomocou programu SNR Scope .....	41
5.5.4 Meranie reálnej prenosovej rýchlosti pomocou aplikácie Iperf Jperf .....	41
5.5.5 Meranie Bitovej chybovosti .....	42
5.5.6 Problémy kontinuálneho merania parametrov.....	43
5.6 NAMERANÉ PARAMETRE SIETE .....	43
5.7 NÁKLADY NA REALIZÁCIU PROJEKTU .....	45
<b>ZÁVER .....</b>	<b>46</b>
<b>PRÍLOHY .....</b>	<b>49</b>
PRÍLOHA A: POPIS A TECHNICKÉ PARAMETRE KÁBLOVÉHO MODEMU AV200 CABLELAN .....	49
PRÍLOHA B: POHĽAD NA SNR PRI JEDNOTLIVÝCH SPOJENIACH .....	51
PRÍLOHA C: UKÁŽKY GRAFICKÝCH ROZHRAŇÍ JEDNOTLIVÝCH MERACÍCH APLIKÁCIÍ ...	53
PRÍLOHA D: MAPA KÁBLOVEJ A DÁTOVEJ SIETE OBCE BRANČ .....	56

## Zoznam obrázkov

Obr. 1: Architektúra siete DOCSIS (EuroDOCSIS).	14
Obr. 2: Princíp pridania cyklického prefixu.	17
Obr. 3: Model menšej káblovej siete (CATV) so systémom PLC.	17
Obr. 4: Principiálna schéma televízneho odbočovača.	19
Obr. 5: Principiálna schéma diplexu 30/47.	20
Obr. 6: Principiálna schéma injekčného bodu DF30/47i.	20
Obr. 7: Schéma premostenia zosilňovača bez spätného smeru.	22
Obr. 8: Schéma premostenia zosilňovača z jedným vstupom spätného smeru.	22
Obr. 9: Schéma premostenia zosilňovača s dvomi výstupmi a jedným vstupom spätného smeru.	23
Obr. 10: Káblový modem Corinex AV 200.	24
Obr. 11: Pohľad na konektory zariadenia AV200.	24
Obr. 12: Vnútoraná bloková schéma modemu založeného na integrovanom obvode DSS9001 a DSS7700.	25
Obr. 13: Zapojenie v prípade AV 200 Powerline Ethernet Adapter.	26
Obr. 14: Zapojenie v prípade AV 200 Powerline CableLAN Adapter.	27
Obr. 15: Prenosové pásma systému AV 200.	28
Obr. 16: Head End od firmy Corinex.	31
Obr. 17: Model siete do 30 modemov	33
Obr. 18: Model siete do 100 modemov	34
Obr. 19: Model siete pre vysoký počet prípojok	35
Obr. 20: Schéma zosilňovača s testovacím výstupom.	38
Obr. 21: Úprava útlmu výmenou pasívnej televíznej odbočky	39
Obr. 22: Výmena televíznej zásuvky za diplex	40
<b>PRÍLOHY</b>	<b>CHYBA! ZÁLOŽKA NIE JE DEFINOVANÁ.</b>
Obr. 23: Predný panel modemu AV200 CableLAN.	49
Obr. 24: Zadný panel modemu AV200 CableLAN.	50
Obr. 25: SNR na strane modemu č.1 a Head Endu č.4.	51
Obr. 26: SNR na strane modemu č.2 a Head Endu č.1.	51
Obr. 27: SNR na strane modemu č.3 a Head Endu č.1.	51
Obr. 28: SNR na strane modemu č.4 a Head Endu č.2.	52

Obr. 29: SNR na strane modemu č.5 a Head Endu č.2.....	52
Obr. 30: SNR na strane modemu č.6 a Head Endu č.2.....	52
Obr. 31: Ukážka konfigurácie a určenie niektorých parametrov PLC zariadenia.....	53
Obr. 32: Ukážka grafického rozhrania aplikácie SNR Scope .....	54
Obr. 33: Ukážka grafického rozhrania aplikácie Jperf .....	55

## Zoznam tabuliek

Tab. č. 1: Maximálne prenosové rýchlosti technológie DOCSIS a EuroDOCSIS.....	13
Tab. č. 2: Tlmenie pasívnych televíznych rozbočovačov .....	19
Tab. č. 3: Priechodový a väzbový útlm televíznych odbočovačov .....	19
Tab. č. 4: Prenosové pásma systému AV200 a ich parametre.....	29
Tab. č. 5 : Minimálne SNR k dosiahnutiu daného BER pri rôznych modulačných schémach .....	42
Tab. č. 6: Porovnanie prenosovej rýchlosti na fyzickej vrstve a transportnej vrstve .....	44
Tab. č. 7: Namerané parametre PLC signálu pri jednotlivých spojeniach .....	44
Tab. č. 8: Cena zariadení potrebných pre realizáciu projektu .....	45
Tab. č. 9: Technické parametre modemu AV200 CableLAN .....	50

## Zoznam skratiek

<i>3DES</i>	Triple Data Encryption Standard	Trojité DES
<i>A-TDMA</i>	Advanced Time Division Multiple Access	Zdokonalený viacnásobný prístup s časovým rozdelením
<i>BER</i>	Bit Error Rate	Bitová chybovosť
<i>CATV</i>	Community Access Television	Káblová televízia
<i>CMTS</i>	Cable Modem Termination System	Systém zakončenia káblového modemu
<i>CPE</i>	Customer Premises Equipment	Koncový užívateľský modem
<i>CP</i>	Cyclic Prefix	Cyklická predpona
<i>DES</i>	Data Encryption Standard	Symetrický šifrovací algoritmus
<i>DHCP</i>	Dynamic Host Configuration Protocol	Protokol pre dynamickú konfiguráciu hostiteľov
<i>DMT</i>	Discrete Multitone Modulation	Diskrétna multitónová modulácia
<i>DOCSIS</i>	Data Over Cable Service Interface Specification	Špecifikácia rozhrania prenosu dát po káblvej sieti
<i>DSL</i>	Digital Subscriber Line	digitálna účastnícka prípojka
<i>EuroDOCSIS</i>	European Data Over Cable Service Interface Specification	Európska špecifikácia rozhrania prenosu dát po káblvej sieti
<i>FMT</i>	Filtered MultiTone modulation	Modulácia bankou filtrov
<i>GI</i>	Guard Interval	Ochranný interval
<i>HURTO</i>	High-performance Ultra-Redundant Transmission OFDM	Vysoko výkonný redundantný prenos OFDM
<i>ICI</i>	Inter-Carrier Interference	Interferencia medzi
<i>IFCP</i>	Inter Firmware Communication Protocol)	Protokol prenosu firmwaru medzi zariadeniami
<i>IP</i>	Internet Protocol	Internetový protokol
<i>ISI</i>	Inter-Symbol Interference	Medzisymbolové interferencie
<i>ITU</i>	International Telecommunication Union	Medzinárodná telekomunikačná únia-rádiokomunikácie
<i>LAN</i>	Local Area Networks	Lokálna dátová sieť



<i>MAC</i>	Medium Access Control	Riadenie prístupu k médiu
<i>MCM</i>	MultiCarrier Modulation	Modulácia s viacerými nosnými
<i>NTSC</i>	National Television System Committee	Televízna norma
<i>OFDM</i>	Orthogonal Frequency Division Multiplexing	Ortogonálny frekvenčný deliaci multiplex
<i>PAL</i>	Phase Alternating Line	Televízna norma
<i>PLC</i>	Power Line Communication	Prenos dát po energetickej sieti
<i>PTO</i>		Pasívny televízny odbočovač
<i>PTR</i>		Pasívny televízny rozbočovač
<i>QAM</i>	Quadrature Amplitude Modulation	Kvadratúrna amplitúdová modulácia
<i>QAM TCM</i>	Quadrature Amplitude Modulation with Trellis Code Modulation	Kvadratúrna amplitúdová modulácia s trellis kódovaním
<i>QoS</i>	Quality of Service	Kvalita služby
<i>QPSK</i>	Quadrature Phase-Shift Keying	Štvorstavové kľúčovanie s posunom fázy
<i>S-CDMA</i>	Synchronous Code Division Multiple Access	Prístup s kódovým multiplexom
<i>SECAM</i>	Sequential Color with Memory	Televízna norma
<i>SNR</i>	Signal-to-Noise Rate	Odstup signál-šum
<i>TDMA</i>	Time Division Multiple Access	Viacnásobný prístup s časovým rozdelením
<i>TFTP</i>	Trivial File Transport Protocol	Jednoduchý protokol pre prenos súborov
<i>UTP</i>	Unshielded Twisted Pair	Netienená krútená dvojlinka
<i>VLAN</i>	Virtual Local Area Networks	Virtuálna lokálna dátová sieť
<i>WIFI</i>	Wireless Fidelity	Bezdrôtová kompatibilita

## Úvod

Siete káblových televízií v skratke CATV sa začali budovať už v minulom storočí, avšak tieto siete boli dimenzované na jednosmerný prenos televíznych kanálov. Čoskoro s dobou internetu si poskytovatelia uvedomili, že by bolo možné káblovú sieť využívať na prenos informácií obojsmerne. Novovybudované siete boli preto obojsmerné štandardne so šírkou pásma 750 MHz, ktoré sa delilo na oblasť nízkych frekvencií 5 MHz – 45 MHz určených pre upstream a oblasť vysokých frekvencií 45 MHz – 750 MHz pre downstream. Najznámejšia používaná technológia prenosu dát obojsmerne sa riadi štandardom DOCSIS alebo európskou špecifikáciou euroDOCSIS. To si vyžadovalo v starých káblových sieťach výmenu jednosmerných zosilňovačov za obojsmerné, ktoré zosilňovali signál od zákazníka smerom ku káblovej ústredni. Avšak rekonštrukcia siete spotrebuje nemalé finančné prostriedky, i keď je pôvodná kabeláž zachovaná. Tieto zmeny sa nakoniec negatívne premietnu do ceny služieb. A práve cena služieb spolu s rýchlosťou prenosu je dôležitá pri súperení s ostatnými technológiami ako je DSL, WIFI, FiberNet.

V mojej práci by som chcel opísať pomerne nový spôsob prenosu pomocou zariadení CableLAN [7] využívajúcich technológiu PLC. Tento systém prenosu je odvodený od klasického použitia zariadení PLC, ktoré využíva ako prenosové médium elektrické vedenie. CableLAN riešenie je prispôbené na prenos dát po koaxiálnom kábli. Výhodou oproti rozšírenej používanej technológii DOCSIS je, že využíva nezosilnený spätný kanál od zákazníka, čiže v sieti sú prevedené len malé úpravy, ktoré nie sú finančne ani časovo náročné. Jedinou technickou podmienkou tohto riešenia je obojsmerne priechodné pásmo v rozsahu frekvencií 2 MHz – 34 MHz. Taktiež zariadenie, ktoré integruje dáta do nosnej siete je rádovo lacnejšie ako pri technológii DOCSIS. Keďže spätný kanál nie je zosilnený, dátový signál má menšiu penetráciu ako pri spomínanom systéme DOCSIS. Tento systém je preto vhodný pre menšie obce alebo firmy, avšak pri použití repeatrov (opakovačov) signálu je možné pokryť aj väčšie zastavané územia.

V ďalšom kroku sa budem zaoberať fyzickou realizáciou projektu založeného na použití vybraných zariadení, konfiguráciou spomenutých zariadení a pripojenie klientov k internetovej sieti. Tento projekt sa bude realizovať s podporou firmy Obecné siete s.r.o. vo vhodnej obci v lokalite mesta Nitra.

# 1 Možnosti pripojenia internetu v káblovej sieti

Pri pokrytí internetom vo veľkých a kvalitných káblových sieťach sa spravidla používa technológia DOCSIS (kap. 1.1). U menších sieti budovaných v malých obciach sa javí využitie zariadení CableLAN založených na technológii PLC ako veľmi dobrý kandidát s pohľadom prvotných investícií pri budovaní siete.

## 1.1 Štandard DOCSIS

Medzinárodný štandard DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification) bol vytvorený a je podporovaný viacerými známymi spoločnosťami ako ARRIS, Broadcom, Cisco, Conexant, Correlant, Intel, Motorola, Terayon a Texas Instruments. Tento špecifikuje pravidlá pre obojsmerné dátové prenosy v káblových sieťach. Takmer všetky dnešné káblové siete používajú práve tento prenosový systém. V dnešnej dobe existuje viacero špecifikácií tohto systému. Ako prvý bol vydaný DOCSIS 1.0 (podľa odporúčania ITU J.112 ) v roku 1997 a ďalšia doplnovacia revízia DOCSIS 1.1 v roku 1999. V tejto variante je používaná modulácia 64 QAM alebo 256 QAM pre dopredný kanál, ktorý leží v rozsahu frekvencií 47 MHz – 750 MHz. Zdieľanie spätného kanálu je realizované pomocou časového multiplexu TDMA, pričom sú použité modulácie QPSK alebo 16 QAM. Častejšie sa potom používa modulácia QPSK, ktorá je odolnejšia proti vzniknutému rušeniu na vedení. Šírka pásma môže byť zvolená 200 kHz, 400 kHz, 800 kHz 1600 alebo 3200 kHz. Prenosový kanál leží v rozsahu nízkych frekvencií 5 MHz – 50 MHz.

Ďalšia nová špecifikácia DOCSIS 2.0 (podľa odporúčania ITU J.122 ) z roku 2002 priniesla podporu QoS (Quality of Service). Táto verzia má hlavne vylepšený spätný kanál, ktorý využíva vylepšenú metódu zdieľania kanálu A-TDMA a S-CDMA. Tieto metódy sú obzvlášť vhodné pre multimediálne aplikácie. S prístupovou metódou A-TDMA používa šírku pásma až 6,4 MHz, kde použité modulácie sú QPSK, 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM. Prístupová metóda S-CDMA používa rovnaké šírky pásiem, avšak umožňuje väčší počet použiteľných modulácií, a to QPSK, 8-QAM TCM, 16-QAM TCM, 32-QAM TCM, 64-QAM TCM, 128-QAM TCM. Podľa použitej šírky pásma a použitej technológie sa dosahujú pochopiteľne iné prenosové rýchlosti, ktoré sú súhrne uvedené v tab. č. 1. Posledná špecifikácia je z roku 2006 a to DOCSIS 3.0 (podľa odporúčania ITU J.122.1, J.122.2, J.122.3 ). Jednou z výhod verzie 3.0 je tzv. “channel bonding”, ktorý umožňuje spájať viacero spätných a dopredných kanálov pre jedného klienta. V praxi sa potom používa najčastejšie systém štyrmi kanálmi pre downstream a upstream. Táto špecifikácia zaručuje kompatibilitu z IPv6. Avšak prechod na štandard DOCSIS 3.0 je veľmi pozvoľný, keďže štandard 2.0 zaručuje dostatočné prenosové rýchlosti a rozšírenie bude záležať na poskytovateľoch služieb. Zmena štandardu je spojená s výmenou aktívnych prvkov siete, čo je finančne veľmi náročné.

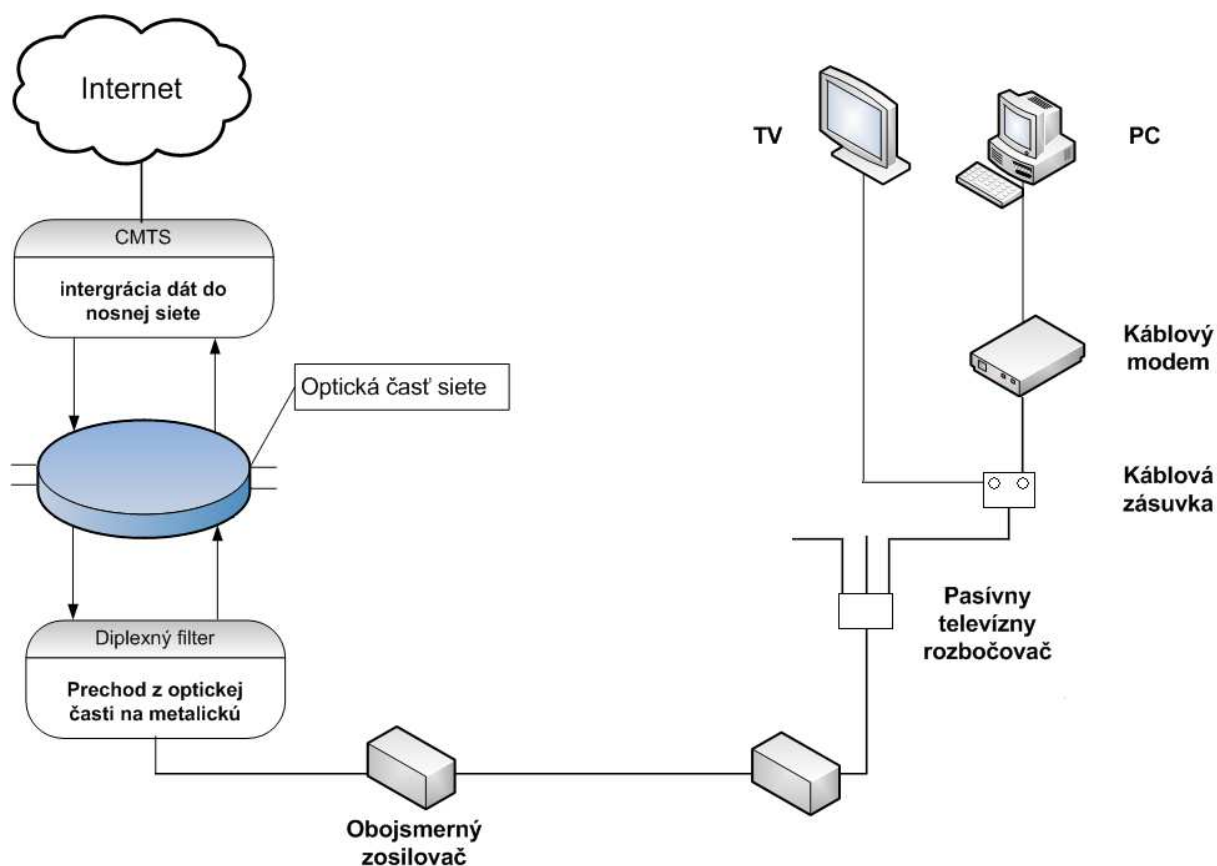
V Európe sa častejšie stretne s špecifikáciou EuroDOCSIS, v ktorej sú rozdielne šírky kanálov. V Európe sa využíva šírka kanálov 7 MHz (PAL) alebo 8 MHz (SECAM). Americká verzia používa systém NTSC so šírkou kanálu 6 MHz. Z toho vyplývajú rozdielnosti v prenosových rýchlostiach, keďže väčšia šírka kanálu znamená väčšiu prenosovú rýchlosť. Európsky štandard vznikol koncom roku 1998. Štandard sa riadi podľa odporúčania ITU J.112, takže je veľmi blízkym príbuzným amerického štandardu DOCSIS. Jeho použitie je veľmi výhodné, keďže dosahuje väčšie prenosové rýchlosti. Avšak mnohí poskytovatelia internetu v Európe využívajú americký DOCSIS a na výhodnejší EuroDOCSIS sa prechádza postupne. Maximálne prenosové rýchlosti sú pre porovnanie uvedené súhrne v tab. č. 1 [4].

Tab. č. 1: Maximálne prenosové rýchlosti technológie DOCSIS a EuroDOCSIS.

Verzia	DOCSIS		EuroDOCSIS	
	Downstream [Mbit/s]	Upstream [Mbit/s]	Downstream [Mbit/s]	Upstream [Mbit/s]
1.x	38	9	50	9
2.0	38	27	50	27
3.0 4 kanály	152	108	200	108
3.0 8 kanálov	304	108	400	108

Základná architektúra systému DOCSIS pozostáva z káblového modemu, ktorý je umiestnený na strane užívateľa a CMTS (Cable modem termination system) zariadenia, ktoré je v hlavnej stanici prevádzkovateľa káblvej televízie. Tento systém sa často prevádzkuje vo veľkých aglomeráciách, preto je často realizovaný ako hybridný (opticko-koaxiálny), kde optická časť zabezpečuje nízky útlm signálu a tým šírenie na veľké vzdialenosti. CMTS je zariadenie, ktoré zabezpečuje integráciu dát do televíznej siete. Na mieste, kde signál prechádza na klasickú koaxiálnu sieť, je diplexný filter s meničom z optickej časti na metalickú (koaxiálnu). V koaxiálnej časti sú potom podľa potreby radené obojsmerné zosilovače signálu. U zákazníka je inštalovaný splitter, ktorý signál rozdelí na televíznu časť a dátovú časť. Dátový výstup je vedený do káblového modemu. Z modemu sú dáta posielané klasickým UTP káblom do počítača [4].

Štandard definuje maximálnu dobu odozvy medzi zariadeniami CMTS a káblovým modemom, ktorá je 2 milisekundy. Taktiež je definovaná maximálna dĺžka optickej časti siete, ktorá je 160 km. Maximálna dĺžka koaxiálnej časti je 16 km, ale v praxi sa používajú kratšie dĺžky kabeláže. Základná architektúra siete DOCSIS alebo siete EuroDOCSIS je zobrazená na obr. 1.



Obr. 1: Architektúra siete DOCSIS (EuroDOCSIS).

## 1.2 Pripojenie internetu s využitím zariadení PLC

Staršie a menšie káblové siete, ktoré sa projektovali v období kedy sa nepočítalo s prevádzkou dátových služieb, nebolo možné donedávna predovšetkým z finančných dôvodov pripojiť k internetu. Tu je však možné využiť už spomínaný systém CableLAN, založený na technológii PLC. Tento systém bude prostredníctvom tejto práce popísaný, keďže v praxi zatiaľ nie je vo veľkom rozsahu používaný.

### 1.2.1 História prenosu dát po energetickej sieti

Počiatkový vývoj na prenos dát bol založený spoločnosťou Norweb Communication v roku 1991. V tej dobe boli vytvorené prvé prototypy systému PLC. V spolupráci s ďalšou firmou bol realizovaný prvý projekt, ktorého výsledky vzbudili záujem aj u iných firiem. Uľahčením vývoja PLC pre firmy bolo vytvorenie špecializovaných obvodov, ktoré zahrňovali všetky funkcie samotného prenosu. Jedným z prvých spomínaných obvodov je ST 7537 od firmy ST Microelectronics, ďalej bol vyvinutý obvod M306 od spoločnosti Mitsubishi a Microsoft. Tento obvod s použitím

procesoru M16C/62 mal vytvoriť systém obsluhy domácich spotrebičov a svietidiel prostredníctvom domácej siete s využitím softwarových aplikácií od spoločnosti Microsoft. Integrované obvody umožňujú aj iné využitie, pretože sú cenovo dostupné. Od roku 1997 vývoj v tejto oblasti rýchlo pokročil. Prvé navrhované systémy s prenosovou rýchlosťou niekoľko Mbit/s by dnes ťažko súperili s konkurenčnými technológiami, avšak v roku 2004 bol prezentovaný DS2 čip pracujúci s prenosovými rýchlosťami až 200 Mbit/s.

## 2 Modulácie

### 2.1 Prehľad modulácií s viacerými nosnými frekvenciami

Modulácia s viacerými nosnými frekvenciami MCM (MultiCarrier Modulation) je nám známa viac ako 40 rokov, ale k veľkému využitiu dochádza za posledné roky vďaka rozvoju VLSI technológií. V súčasnej dobe sú známe mnohé typy MCM modulácií:

- DMT modulácia (Discrete MultiTone) je určená predovšetkým pre prenos dát v telefónnych prístupových sieťach, ktoré sú tvorené medenými krútenými pármami. DMT modulácia umožňuje adaptívnu bitovú alokáciu podľa pomeru signál-šum (SNR),
- OFDM modulácia (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) je používaná v digitálnom rozhlasovom vysielaní,
- FMT modulácia (Filtered MultiTone modulation) je tvorená bankou filtrov.

Základnou myšlienkou MCM je rozdelenie frekvenčného pásma na viacero od seba oddelených pásiem (subkanálov), po ktorých budú dáta prenášané. Ak budú tieto pásma dostatočne úzke, môžeme predpokladať, že prenosová funkcia bude konštantná. Šum bude biely, čím sa viac priblížime ideálnej charakteristike na subkanále. Hlavnou výhodou je flexibilné využívanie frekvenčného pásma. Ak sa v pásme vyskytne subkanál s nízkym pomerom SNR, jednoducho kanál nepoužijeme a výkon sa efektívnejšie rozdelí do iných subkanálov, ktoré majú lepšie prenosové vlastnosti. Počet bitov, ktoré budú prenášané sú dané súčtom bitov na všetkých kanáloch. Ďalšou výhodou oproti modulácii s jednou nosnou frekvenciou je zníženie symbolovej rýchlosti, čo poskytuje lepšiu ochranu proti impulznému šumu. Výsledná prenosová rýchlosť je daná nasledujúcim vzťahom:

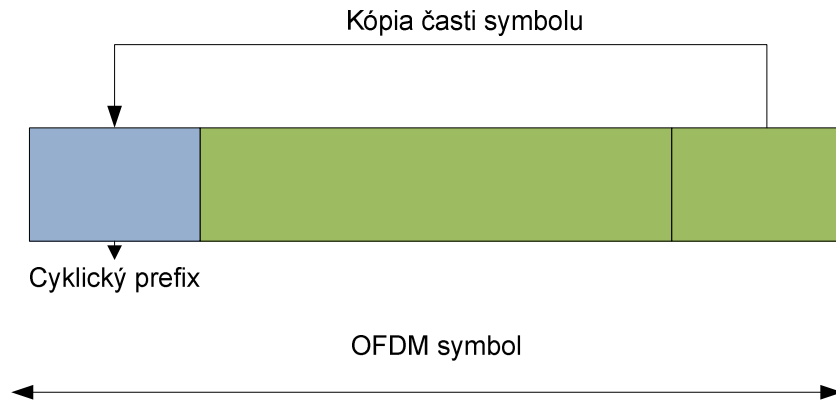
$$R_{\text{celk}} = f_{\text{symb}} \cdot \sum_{i=1}^N m_i \quad [\text{kbit} / \text{s}]. \quad (1)$$

Kde:

- $R_{\text{celk}}$  je výsledná prenosová rýchlosť celého systému,
- $f_{\text{symb}}$  je kmitočet, s ktorým sa mení symbol (symbolový pomer),
- $m_i$  je počet prenášaných bitov v jednom symbole  $i$ -tou nosnou,
- $N$  je počet nosných [6].

## 2.1.1 Vlastnosti OFDM modulácie

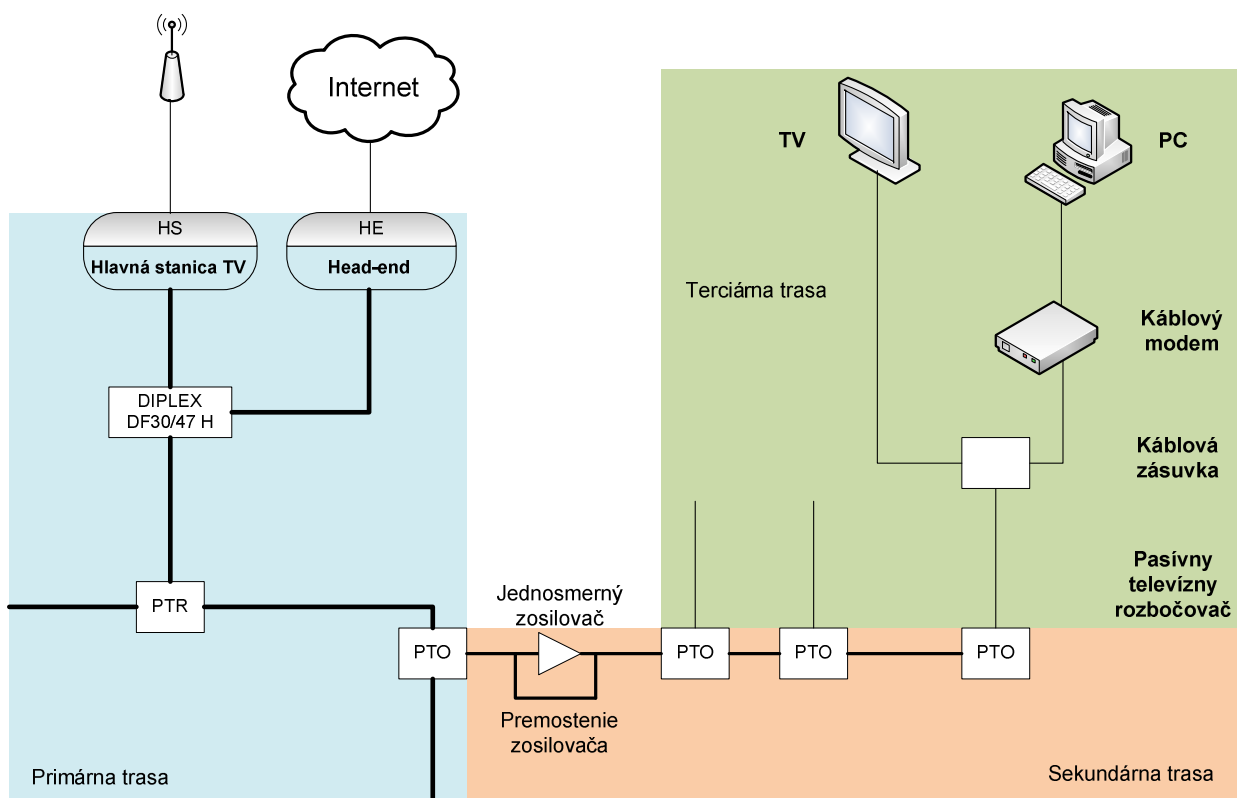
OFDM modulácia (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) vykazuje radu výhod oproti moduláciám s jednou nosnou vlnou. Základnou myšlienkou OFDM je využitie viacerých subnosných frekvencií, ktoré vytvárajú ortogonálnu sústavu. Spektrá jednotlivých subnosných frekvencií sa riadia funkciou  $(\sin x)/x$ . Dátový prenos je rozdelený do paralelných dátových tokov a každý z nich je prenášaný na samostatnej subnosnej frekvencii. Ide teda o paralelný dátový prenos. Tieto jednotlivé subnosné frekvencie majú medzi sebou veľmi malé frekvenčné rozostupy, takže ich modulačné spektrá sa výrazne prekrývajú. Avšak každá z nich sa nachádza vždy presne na frekvencii, na ktorej spektrá ostatných nosných prechádzajú nulou. Tým sa zaručuje ochrana proti interferenciám medzi nosnými vlnami ICI (Intercarrier Interference). V prijímači je potom možné za pomoci korelačných techník tieto ortogonálne signály od seba oddeliť. Touto technikou sa taktiež dosahuje veľmi dobrá spektrálna účinnosť. Systém je taktiež odolný proti impulzným interferenciám, pri vzniku ktorých sú týmto postihnuté veľmi krátke úseky dlhších symbolov. Vďaka tejto vlastnosti nie je nutné v systémoch pracujúcich na základe OFDM modulácie používať zložité kanálové kódovania a dokonca pri vysokom pomere SNR je ich možné vypustiť. Vznikom mnohocestného šírenia signálu vznikajú rady rušivých efektov. Tie sa prejavujú prostredníctvom interferencií ICI (Intercarrier Interference) a ISI (Intersymbol Interference). Aby nedochádzalo k vzájomnému časovému presahu susedných alebo vzdialených vysielaných symbolov, nesmie byť prenosová symbolová rýchlosť  $f_s$  vyššia než niekoľko desiatok KBaud/s. U systému OFDM vďaka podstatne dlhším symbolovým periódam vzniká v jednotlivých subkanáloch inherentná imunita voči ISI. Túto prirodzenú imunitu je možné vylepšiť zväčšovaním počtu nosných vln  $N$ . Tým sa zväčšuje dĺžka symbolov v jednotlivých subkanáloch. Pri zväčšovaní počtu nosných sa však začínajú objavovať problémy so stabilitou. Ďalšie potlačenie interferencií ISI je možné dosiahnuť pridaním ochranného intervalu GI (Guard Interval) medzi jednotlivými symbolmi. V disperzných kanáloch môže dochádzať mnohocestným šírením, okrem interferencií ISI, k interferenciám medzi subnosnými vlnami ICI. Ortogonalita jednotlivých nosných môže byť narušená lineárnym amplitúdovým a fázovým skreslením, pričom sa energia určitého subkanálu rozptyľuje do susedného kanálu a tým vznikajú interferencie ICI. Ochranu proti interferenciám ICI je možné zväčšiť prechodom od ochranného intervalu na cyklický prefix CP (Cyclic Prefix). Ten je vytvorený vyplnením prázdneho ochranného intervalu pred aktívnym symbolom koncovou časťou tohto aktívneho symbolu. Princíp pridanej cyklického prefixu je zobrazený na obr. 2. Cyklický prefix umožňuje elimináciu interferencie ISI a taktiež potlačenie interferencie ICI. [1]



Obr. 2: Princíp pridania cyklického prefixu.

### 3 Prenosová sústava v CATV so zariadeniami PLC

V práci by som sa chcel zamerať na pripojenie k internetu v malých káblových sieťach. Model takejto siete som zobrazil na obr. 3. Sieť sa skladá z aktívnych a pasívnych prvkov televíznej káblvej siete a taktiež aktívnych prvkov technológie PLC. Technické riešenie je založené v pridaní CableLAN zariadení k existujúcej káblvej sieti.



Obr. 3: Model menšej káblvej siete (CATV) so systémom PLC.



Veľkou výhodou navrhnutého riešenia je že sieť nie je nutné prebudovávať. Technickou podmienkou tohto systému je obojsmerne priechodné pásmo v rozsahu 2 MHz – 34 MHz alebo časti tohto pásma. PLC technológia komunikuje na trase Head end - káblový modem obojsmerne. Preto je potrebné zabezpečiť na tejto trase pasívny priepustný smer. Väčšina zosilňovačov umožňuje prepustenie spätného smeru pomocou vloženia pasívneho mostíka (tapu). V prípade starších modelov zosilňovačov, bez spätného priepustného smeru je nutné tieto zosilňovače premostiť. Taktiež ďalšou podmienkou komunikácie PLC Head Endu s káblovým modemom je, že útlm signálu nesmie prekročiť hodnotu 65 dB. Avšak v praxi je potrebné, aby bol útlm čo najmenší, keďže so zvyšujúcim sa útlmom klesá prenosová rýchlosť.

Hlavné aktívne zariadenia systému CableLAN sú:

- PLC Head End umiestnený v hlavnej stanici káblovej televízie,
- PLC káblový modem umiestnený v priestoroch užívateľa, ktorý je napojený priamo do televíznej zástrčky,
- PLC opakovač umiestnený na dlhších koaxiálnych trasách, ktorý v prípade malých obecných sietí nie je nutné používať.

Aktívnymi zariadeniami pôvodnej káblovej siete sú zosilňovače, ktoré sa vyskytujú na sekundárnej trase káblovej siete. V praxi sú radené kaskádovito pre získanie požadovaného výkonu. Z topologického hľadiska je možné televíznu sieť rozdeliť na 3 časti: primárna trasa, sekundárna trasa a terciárna trasa.

### **3.1 Pasívne prvky káblovej televízie**

Pasívne prvky káblovej televízie (CATV) sú spolu s kabelážou základnými stavebnými prvkami káblových sietí. Pasívne prvky do signálu nepridávajú šum. Okrem útlmu teoretického majú aj vlastný útlm aj v prípade ideálneho impedančného prispôsobenia. Útlm býva spôsobený vlastnosťami magnetického materiálu používaného v jadrách transformátorov, ktoré sú základom väčšiny pasívnych prvkov. Tieto prvky sú obojsmerne priechodné, takže splňujú základnú podmienku funkčnosti systému CableLAN. Pri všetkých typoch pasívnych prvkov je dôležité používať certifikované zariadenia, ktoré garantujú rovnaký útlm v danom pásme a nechovajú sa ako frekvenčné filtre.

#### **3.1.1 Pasívne televízne rozbočovače**

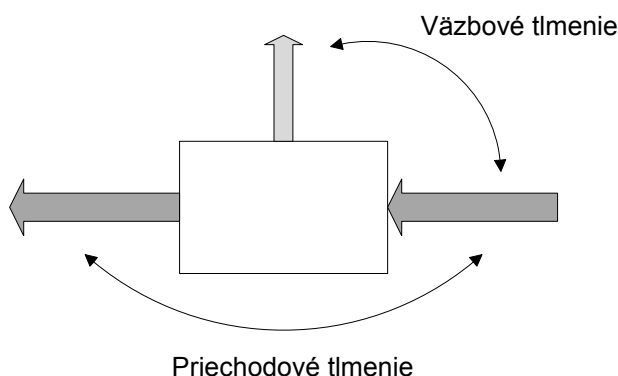
Pasívne televízne rozbočovače slúžia na rozbočenie televízneho (dátového) signálu. Rozbočovač je symetrický prvok, ktorý jeden vstupný signál pretransformuje do dvoch výstupných. Zo zákona o zachovaní energie vyplýva, že pasívne bezstratové rozbočenie znamená útlm výkonu každého z oboch výstupných signálov o 3 dB oproti signálu vstupnému. V praxi je to 3,5 dB. Signál je tiež možné rozbočiť aj do viacerých smerov. Veľkosť útlmu používaných typov rozbočovačov je uvedená v tab. č. 2.

Tab. č. 2: Tlmenie pasívnych televíznych rozbočovačov [10].

Typ rozbočovača	Veľkosť útlmu v pásme 5 MHz – 40 MHz [dB]
PTR 21	$3,4 \pm 0,2$
PTR 31	$5,5 \pm 1,0$
PTR 31 N	$7,0 \pm 1,0$
PTR 41	$7,2 \pm 0,6$
PTR 81	$10,8 \pm 1,0$

### 3.1.2 Pasívne televízne odbočovače

Pasívne televízne odbočovače slúžia na odbočenie televízneho ( dátového) signálu. Odbočovač je asymetrický prvok slúžiaci k vytvoreniu terciárnej trasy (účastníckej prípojky). Výstupné signály majú rozdielne výkony, ktoré závisia na type použitého pasívneho odbočovača. Funkcia odbočovača je zobrazená na obr. 4.



Obr. 4: Principiálna schéma televízneho odbočovača.

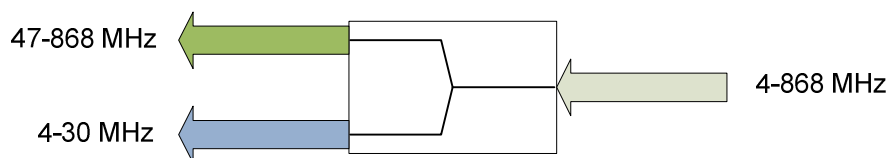
V priechodnom smere majú odbočovače útlm približne 1 dB. Vázbové tlmenie závisí na type použitého prvku. V praxi používané typy sú uvedené v tab. č. 3.

Tab. č. 3: Priechodový a väzbový útlm televíznych odbočovačov [10].

Typ odbočovača	Priechodové tlmenie v pásme 5 MHz – 40 MHz [dB]	Vázbové tlmenie v pásme 5 MHz – 40 MHz [dB]
PTO 7	$1,0 \pm 0,5$	$7,0 \pm 1$
PTO 9	$1,0 \pm 0,5$	$8,5 \pm 1$
PTO 11	$< 1,3$	$11,5 \pm 1,5$
PTO 14	$< 1,3$	$14,5 \pm 1,5$
PTO 18	$< 1,3$	$18,5 \pm 1,5$
PTO 22	$< 1,3$	$22,5 \pm 2,0$
PTO 26	$< 1,3$	$26,5 \pm 2,0$

### 3.1.3 Pasívny prvok duplex 30/47

Pasívny prvok duplex30/47 nie je súčasťou pôvodnej siete CATV. Je to multiplexor dvoch frekvenčných pásiem 4 MHz – 30MHz a 47 MHz – 868 MHz. Využíva sa pri zlučovaní televízneho signálu a dátového PLC signálu na prenos po jednom koaxiálnom vedení. Používa sa pri premost'ovaní zosilňovačov na trasách CATV, ako je uvedené v kapitole 3.3.1. Principiálna schéma duplexu 30/47 je zobrazená na obr. 5.



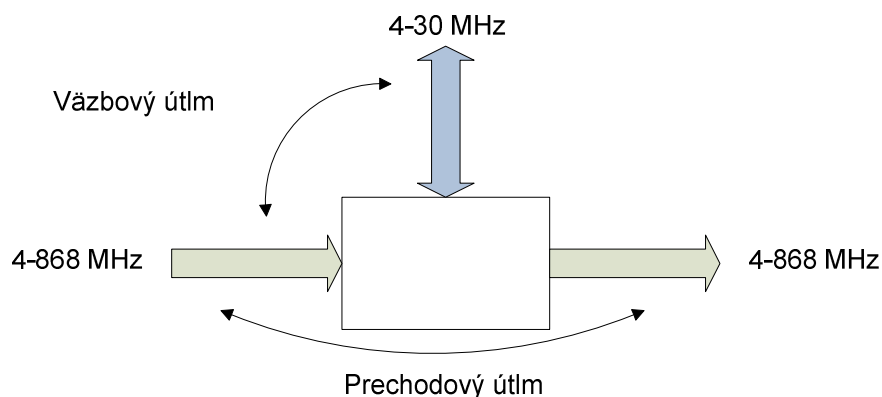
Obr. 5: Principiálna schéma duplexu 30/47.

Väzbové tlmenie v jednotlivých frekvenčných pásmach je:

- 4 MHz – 30 MHz (1,2 dB  $\pm$  0,3 dB),
- 47 MHz – 170 MHz (maximálne 1 dB),
- 170 MHz – 868 MHz (maximálne 1,3 dB).

### 3.1.4 Injekčný bod DF30/47i

Injekčný bod DF30/47i je pasívny prvok a je inštalovaný pri použití opakovača signálu PLC. Principiálna schéma tohto prvku je zobrazená na obr. 6. Prechodový útlm televízneho signálu v pásme 47 MHz – 868 MHz je maximálne 1,3 dB. Väzbový útlm dátového signálu v pásme frekvencií 4 MHz – 30MHz je 3,6 dB  $\pm$  0,2 dB.



Obr. 6: Principiálna schéma injekčného bodu DF30/47i.

### 3.2 Primárna trasa káblovej televízie

Väčšina televíznych káblových sietí je stromovej alebo hviezdicovej topológie. To znamená, že v sieti sa nachádza centrálny prvok, ku ktorému sú pripojené všetky ostatné uzly siete. Tento centrálny prvok je umiestnený v strede danej lokality odkiaľ je najvýhodnejšie daný televízny (internetový) signál šíriť. V rovnakom objekte je vhodné taktiež inštalovať PLC Head End, ktorý zavádza do káblovej siete internetový signál. Dátová časť je pripojená na káblovú sieť pomocou diplexu. Tento pasívny prvok slúži ako multiplexor pásma 4 MHz – 30MHz a pásma káblovej televízie 47 MHz – 868 MHz. Ďalej je spoločný signál distribuovaný primárnou trasou CATV. Táto trasa je najčastejšie budovaná koaxiálnym káblom typu QR 540. Uvedený typ kabeláže zaručuje veľmi nízky útlm (1,12 dB/100m pri 30 MHz). Teoretická maximálna vzdialenosť prenosu, vypočítaná na frekvencii 30 MHz podľa tabuľkových hodnôt [8] je pri tejto kabeláži až 5000 m. To je ale ideálny prípad pri priamom spojení PLC Head End a káblového modemu. V praxi sa na tejto trase nachádzajú útlmové členy, ktoré túto vzdialenosť výrazne skracujú. Primárna trasa je rozdelená pomocou pasívnych televíznych rozbočovačov na niekoľko úsekov (3,4,5), ktoré tvoria chrbticovú sieť televíznej siete. Primárna trasa v týchto menších káblových sieťach väčšinou neobsahuje aktívne prvky CATV, preto nie sú nutné úpravy v tejto časti siete. Avšak to záleží na realizácii pôvodnej televíznej siete. Ak sa na primárnej sieti vyskytujú zosilňovacie prvky, je ich nutné premostiť spôsobom uvedeným v kapitole 3.3.1. Pomocou pasívnych televíznych odbočiek je signál distribuovaný na sekundárnu trasu siete.

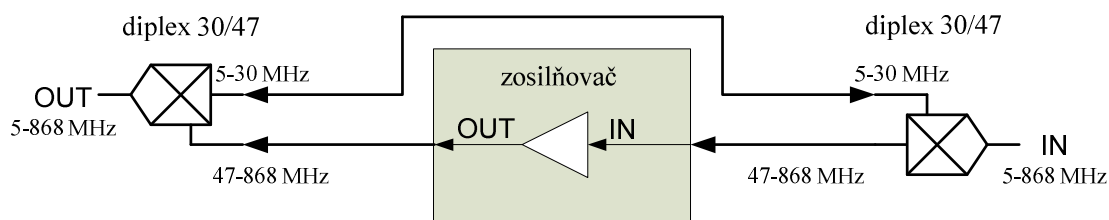
### 3.3 Sekundárna trasa káblovej televízie

Sekundárna trasa je vytvorená v časti siete, kde sa nachádza veľký počet zákazníkov. Trasa je realizovaná pomocou pasívnej televíznej odbočky umiestnenej na primárnej trase. Výkon signálu za touto odbočkou je značne utlmený prenosom po primárnej trase a odbočením, preto sa za touto odbočkou nachádza zosilňovač signálu. Pôvodné televízne zosilňovače nemajú s dátovým prenosom pomocou PLC nič spoločné, keďže prenos prebieha v oblasti nízkych frekvencií. V sieti sa chovajú ako frekvenčné filtre, ktoré užitočné pásmo 2MHz – 34 MHz odfiltrujú. Práve v tejto časti siete je nutné riešiť úpravy na pôvodnej sieti. Aby bola splnená podmienka obojsmerného priechodného pásma, je nutné tieto aktívne zosilňovacie prvky premostiť. Technika premostenia zosilňovacích prvkov je opísaná v kapitole 3.2.1. Trasa je najčastejšie realizovaná koaxiálnym káblom typu RG 11. Táto kabeláž má väčší útlm ako primárna trasa (2,5 dB/100m pri 30MHz). Maximálna vzdialenosť dvoch zariadení pri tejto kabeláži je 2500m a to pri priamom spojení bez útlmových členov, ktoré sa na tejto trase nachádzajú. Sekundárna trasa je realizovaná ako zbernica, ktorá je ukončená odporom. Z tejto zbernice sú realizované domové prípojky(terciárna trasa) prostredníctvom pasívnych televíznych odbočiek. V prípade dlhých sekundárnych trás, kedy je signál silne utlmený, je možné inštalovať opakovač signálu. Opakovač signálu je inštalovaný pomocou pasívneho prvku,

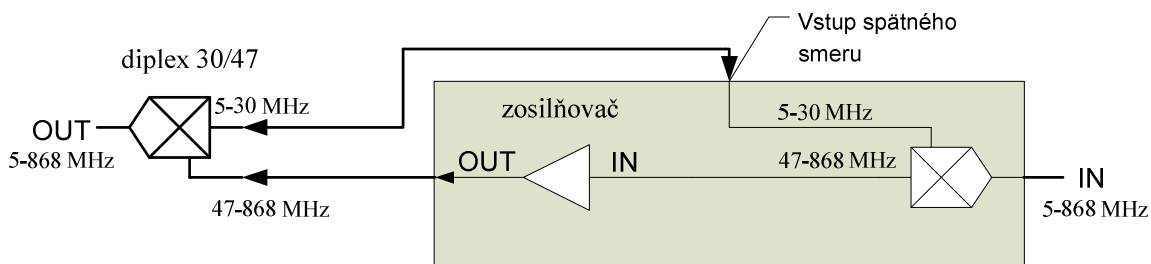
ktorým je injekčný bod [9]. Ako opakovač je použitý aktívny prvok Head End, ktorý funguje ako centrálny prvok. Opakovač nemodifikuje obsah prenášaných informácií, ktoré sú stále transparentne prenášané medzi sieťovými segmentmi celého PLC prístupového systému.

### 3.3.1 Premostenie zosilňovačov

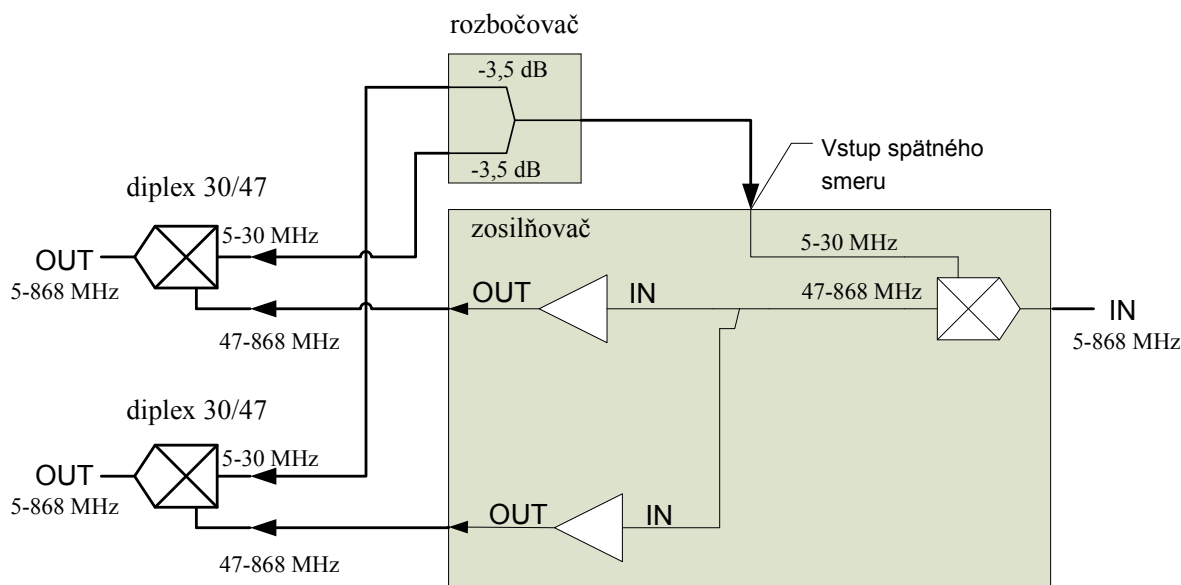
V prípade existencie starších typov zosilňovačov v prenosovej sieti je nutné tieto premostiť. Pre lepšie pochopenie sú jednotlivé prípady zobrazené schématicky na obr. 7, obr. 8 a obr. 9. Premostenie zabezpečuje prenos užitočného pásma PLC zariadení (2 MHz – 34 MHz), keďže to býva štandardne filtrované zosilňovačom. Podľa jednotlivých typov sa pridáva pasívny prvok duplex za zosilňovač, prípadne pred zosilňovač (najstaršie typy zosilňovačov). Novšie typy obsahujú na vstupe zosilňovača odbočku (tap), ktorú je možné využiť ako vstup spätného smeru signálu.



Obr. 7: Schéma premostenia zosilňovača bez spätného smeru.



Obr. 8: Schéma premostenia zosilňovača z jedným vstupom spätného smeru.



Obr. 9: Schéma premostenia zosilňovača s dvomi výstupmi a jedným vstupom spätného smeru.

### 3.4 Terciárna trasa

Terciárna trasa predstavuje domové prípojky jednotlivých užívateľov. Terciárne trasy bývajú veľmi krátke (rádovo desiatky metrov), preto sa používa menej kvalitná koaxiálna kabeláž typu RG 6 s väčším útlmom v užitočnom pásme (4,9 dB/100 m pri frekvencii 30 MHz). Trasa vzniká odbočením zo sekundárnej časti a v terciárnej časti siete nie sú nutné žiadne ďalšie úpravy. Na konci terciárnej trasy (v mieste inštalácie internetu) je umiestnený káblový modem PLC, ktorý umožňuje komunikáciu s centrálnym prvkom systému PLC. V prípade existencie len jednej káblovej zásuvky je inštalovaný rozbočovač signálu. V prípade žiadnej konektivity je nutné prekontrolovať pasívne prvky v danom objekte. Keďže sa jedná o domovú prípojku, užívatelia káblovej televízie často používajú necertifikované pasívne prvky na rozbočenie televízneho signálu, ktoré môžu pôsobiť ako frekvenčné filtre užitočného dátového signálu, prípadne ho tľmiť na veľmi nízku hodnotu.

## 4 Výber zariadení vhodných pre prenos cez CATV

V dnešnej dobe je väčšina dostupných PLC zariadení používaná na prenos dát po elektrickej sieti. Zariadenia boli vybraté na základe dostupnosti a ceny jednotlivých produktov. Na základe uvedených požiadaviek boli vybrané produkty firmy Corinex. Zariadenia firmy Corinex umožňujú vysoké prenosové rýchlosti (až 200 Mbit/s), takže momentálne predstavujú špičku na trhu.

## 4.1 Káblový modem Corinex AV 200 CableLAN

Samotné zariadenie predstavuje prevodník medzi štandardnou počítačovou sieťou budovanou pomocou UTP káblov a káblovou televíziou realizovanou koaxiálnym káblom. Zariadenie je zobrazené na obr. 10.



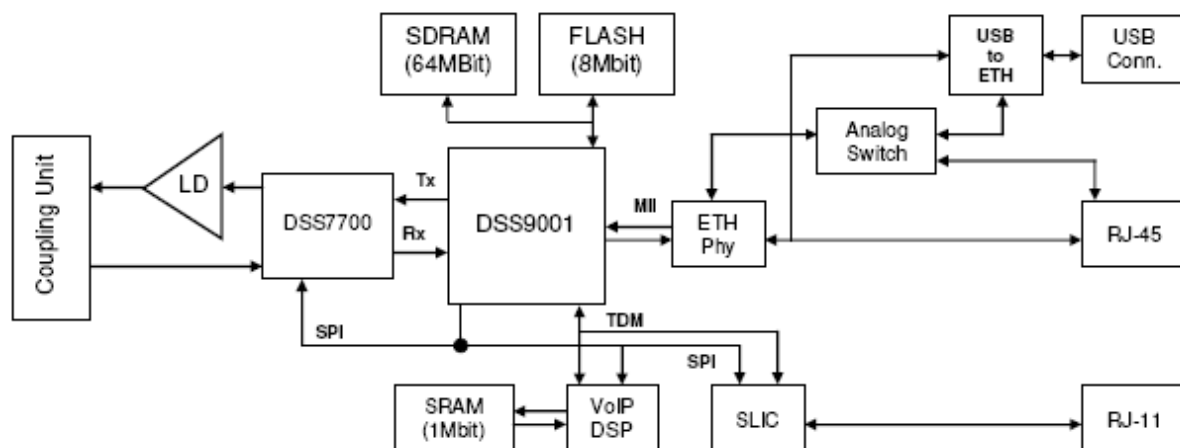
Obr. 10: Káblový modem Corinex AV 200.

Uvedené zariadenie je odvodené od pôvodného zariadenia, ktoré bolo vyvinuté ako prvé a na trhu sa distribuovalo pod označením AV 200 Powerline Ethernet Adapter. Toto zariadenie pracuje v rovnakom frekvenčnom pásme a parametrami sa od spomínanej káblovej verzii vo líši veľmi málo. Avšak je pochopiteľné, že sa líši vnútornými obvodmi, ktoré sú prispôsobené na prenos po káblovej sieti. Zariadenie AV200 CableLAN Adapter obsahuje F konektor, ktorý umožňuje pripojenie na káblovú sieť, ako je to zobrazené na obr. 11.



Obr. 11: Pohľad na konektory zariadenia AV200.

Káblový modem AV200 CableLAN štandardne pracuje na frekvenciách 2 MHz – 34 MHz. To znamená, že v jednom televíznom rozvode môžu spolu existovať obidve siete (televízna aj počítačová) bez toho, aby sa navzájom rušili. Takto vytvorená sieť klasickú počítačovú sieť v mnohých parametroch prekonáva. Maximálna dosiahnuteľná rýchlosť prenosu medzi modemami je až 200Mbit/s, pri technológii FastEthernet je to 100Mbit/s. Výnimkou sú potom gigabitové siete dosahujúce rýchlostí 1Gbit/s. Hlavná výhoda je maximálna vzdialenosť medzi dvomi zariadeniami, ktorá môže byť až 5000m. Je to dané typom použitého koaxiálneho kábla a štruktúry danej trasy. Ak táto trasa obsahuje útlmové členy, vzdialenosť pokrytia klesá [3]. Modem je založený na čipovej sade DS2 z rodiny DSS90xx, konkrétny model obsahuje integrovaný obvod DSS9001. Tento obvod je navrhnutý práve pre koncové zariadenia akými sú modemy. Čip obsahuje pamäť pre maximálne 64 MAC adres. To umožňuje komunikáciu s maximálne 32 susednými uzlami, keďže modem má uložené adresy okolitých modemov a koncových zariadení pripojených k modemu (PC, router, ...). Na čipe je integrovaná je taktiež podpora QoS, ktorá je schopná zabezpečiť pri súčasnom vysielaní jednotlivých aplikácií požadovanú prioritu v rozsahu ôsmich stupňov. Bezpečnosť je riešená dvojúrovňovo. Prvá úroveň je založená na izolácii siete pomocou sieťového identifikátora. Druhá úroveň je daná vlastným šifrovaním založeným na symetrickom šifrovaní 3DES a DES. Schéma zapojenia modemu založená na integrovanom obvode DSS9001 a DSS7700 je zobrazená na obr. 12.



Obr. 12: Vnútoraná bloková schéma modemu založeného na integrovanom obvode DSS9001 a DSS7700. [11]

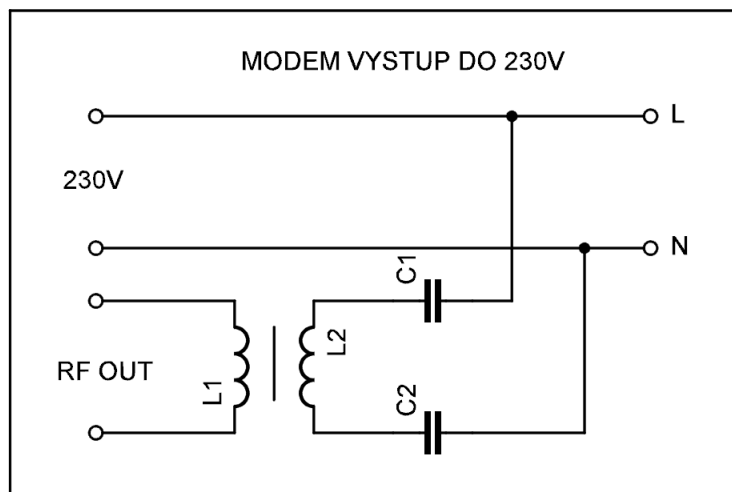
Každý modem musí okrem integrovaného obvodu DSS9001 obsahovať integrovaný obvod DSS7700. Je to vysokorýchlostný programovateľný analógový integrovaný obvod, slúžiaci na príjem a odosielanie signálu v analógovej podobe. Čip je osadený nízkošumovými zosilňovačmi s malým skreslením a vysokou citlivosťou. Je určený pre obvody OFDM s vysokou hustotou nosných frekvencií. Zároveň je osadený špeciálnym 48-pinovým rozhraním umožňujúcim programové riadenie jednotlivých nosných OFDM



a tým vytváranie výkonovej masky. Bližší popis a technická špecifikácia je uvedená v Prílohe A.

## 4.2 Odlišnosti AV200 CableLAN od AV200 Powerline

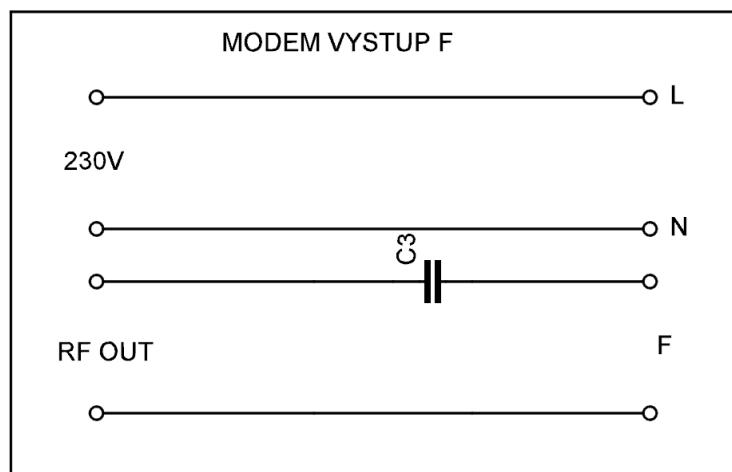
Zariadenia v káblovej verzii neboli od spomínaného výrobcu donedávna dostupné, pretože po nich na trhu nebol dopyt. Preto bolo nutné, aby poskytovatelia vnútorné obvody v jednotlivých zariadeniach prerobili z prenosu po 230V sieti na káblovú sieť. Tieto modifikácie vnútorných obvodov sú uvedené na obr. 13 a obr. 14.



Obr. 13: Zapojenie v prípade AV 200 Powerline Ethernet Adapter.

V súčasnosti poskytuje výrobca predaj aj originálnej verzie určenú pre káblovú sieť, kde nie sú nutné žiadne úpravy. Obr. 13 zobrazuje spojenie dátovej časti RF OUT a elektrického vedenia 230V. Toto spojenie sa nazýva kapacitný väzbový člen, ktorý zaisťuje prevod signálu na elektrické vedenie a taktiež zaisťuje galvanické oddelenie komunikačného kanálu od elektrickej energie. Jedná sa o filter s hornou priepustou, ktorý oddeľuje pásma elektrickej energie (50 Hz – 60 Hz) a vysokofrekvenčného dátového signálu (2 MHz – 34 MHz).

Verzia AV200 CableLAN má jednoduchšie zapojenie vnútorného obvodu, keďže je signál vyvedený na osobitný konektor F. Zapojenie obsahuje kondenzátor C3, ktorý slúži na odstránenie jednosmernej zložky a prípadne odstránenie striedavého napätia o veľkosti 50V, ktoré sa používa na diaľkové napájanie zosilňovačov televízneho signálu. Zapojenie je uvedené na obr. 14.



Obr. 14: Zapojenie v prípade AV 200 Powerline CableLAN Adapter.

Hodnoty elektronických súčiastok uvedených na obr. 13 a obr. 14 sú:

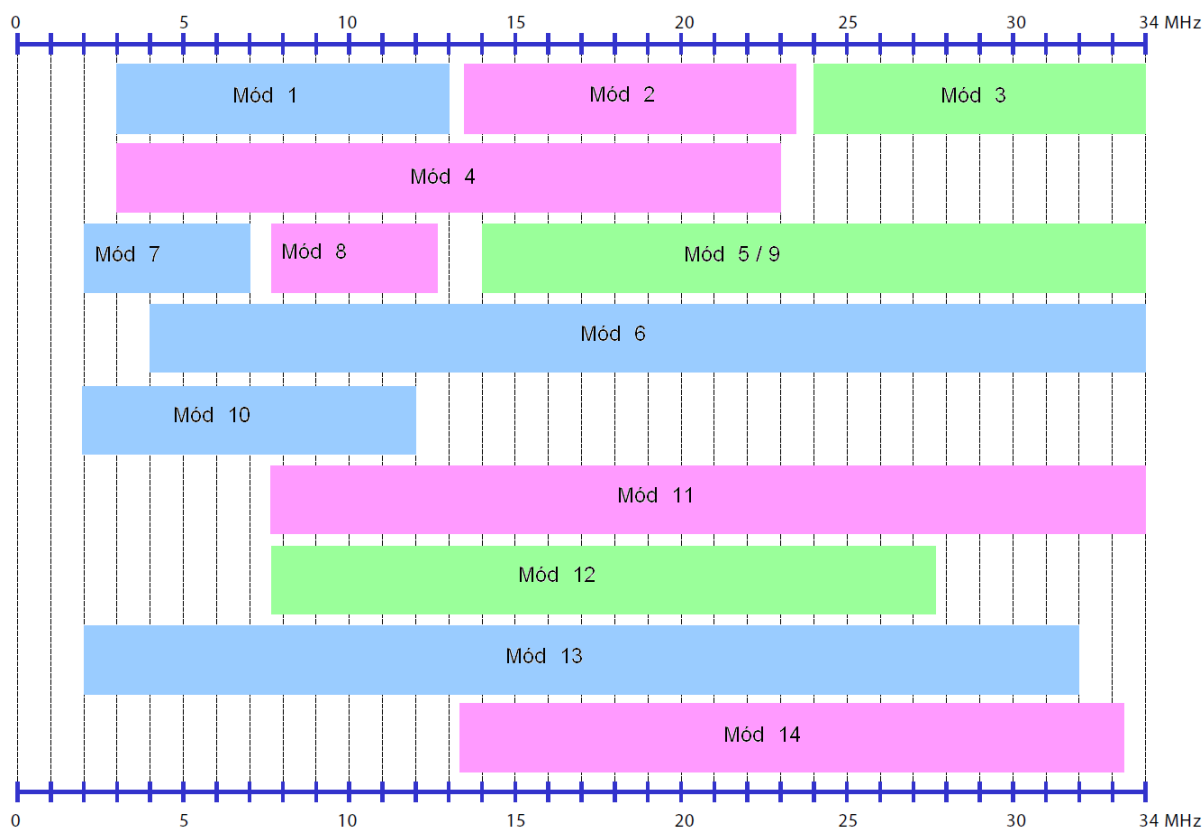
- C1, C2, C3 = 10nF/500V,
- Indukčnosť L1 = Indukčnosť L2

Keďže sa moja práca týka šírenia internetového signálu prostredníctvom káblovej siete, ďalej uvedené informácie sa budú týkať zariadenia AV 200 Powerline CableLAN adaptér. Uvedené rozdiely som spomenul z historického hľadiska, keďže museli byť tieto úpravy spočiatku prevádzkané ručne na každom zariadení.

### 4.3 Prenosové pásma v systéme AV200

Modem využíva spomenutú moduláciu OFDM. Pre dosiahnutie maximálnej prenosovej rýchlosti systém využíva 1536 nosných frekvencií. Systém umožňuje vysielat' v troch rozdielnych prenosových šírkach pásiem 10 MHz, 20 MHz, 30 MHz. Poskytovatelia internetu sa môžu rozhodnúť medzi 14 rozličnými injekčnými módmami (injection modes). To poskytuje možnosť prevádzkovať 3 separátne oddelené siete na jednom prenosovom médiu, ktoré sa navzájom nerušia. Takúto konfiguráciu môžeme vytvoriť pomocou prenosových módo 1, 2 3, ktoré vysielajú signál vo svojich osobitných frekvenčných pásmach. Prenosové pásma jednotlivých kanálov sú zobrazené na obr. 15.

Na základe pravidiel prenosu signálu je útlm signálu na vedení menší v oblasti nízkych frekvencií. Pri prenose vo veľkom domovom objekte alebo v rozsiahlej infraštruktúre je pochopiteľne najlepšie použiť módy 1, 4 alebo 10, keďže penetrácia signálu je v týchto pásmach maximálna.



Obr. 15: Prenosové pásma systému AV 200 [7].

Teoretická maximálna prenosová rýchlosť danej čipovej sady DS2 je 204 Mbit/s na fyzickej úrovni. Avšak to závisí na veľkosti SNR (pomery signál - šum) na vedení a taktiež podľa zvoleného prenosového pásma, resp. vysielacích módov. Pre dosiahnutie spomínanej maximálnej prenosovej rýchlosti je vhodné zvoliť jeden z prenosových módov 6 alebo 13. Parametre jednotlivých prenosových módov sú uvedené v tab. č. 2. Šírka použitého pásma má taktiež vplyv tzv. latency (odozva) jednotlivých zariadení, resp. spolu komunikujúcich aplikácií. Čím je šírka použitého pásma väčšia, tým je nižšia odzva. Skutočná hodnota odzvy sa môže líšiť podľa typu použitej aplikácie a spôsobu komunikácie.

V tab. č. 4 sú uvedené jednotlivé prenosové módy, ktoré je možné voliť podľa druhu danej káblvej siete a obsadenosti jednotlivých frekvenčných pásiem. Položka obsadenosť média vyjadruje absolútnu hodnotu obsadenosti prenosového média pri využití daného módu prenosu. Vhodnou voľbou prenosových módov je možné využiť až po hodnotu 30. Systém je poloduplexný, to znamená, že buď sú dáta prijímané alebo vysielané.

Tab. č. 4: Prenosové pásma systému AV200 a ich parametre.

Prenosový mód	Začiatok pásma [MHz]	Koniec Pásma [MHz]	Šírka pásma [MHz]	Obsadenosť média	Centrálne Frekvencia [MHz]	Maximálna Prenosová rýchlosť [Mbit/s]
1	3	13	10	10	7,968 750	84
2	13,5	23,5	10	10	18,437 500	84
3	24	34	10	10	29,062 500	84
4	3	23	20	20	12,968 750	150
5	14	34	20	20	24,062 500	150
6	4	34	30	30	19,062 500	204
7	2	7	5	10	7,031 250	42
8	7,85	12,85	5	10	12,812 500	42
9	-	-	-	-	-	-
10	2	12	10	10	7,031 250	84
11	7,85	34	26,15	30	21,875 000	180
12	7,85	27,85	20	20	17,812 500	150
13	2	32	30	30	17,031 250	204
14	13,3	33,3	20	20	23,281 250	150

#### 4.4 Výpočet prenosovej rýchlosti systému

Prenosová rýchlosť systému môže byť vypočítaná podľa nasledovného vzťahu:

$$DR = \frac{\sum_{i=1}^{N_c} bpc_i}{t_s} = \frac{\sum_{i=1}^{N_c} bpc_i}{\Delta + \frac{1}{\Delta f}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_c} bpc_i}{\Delta + \frac{N_c - 1}{R}} \quad [bit / s]. \quad (2)$$

Kde:

- DR je výsledná prenosová rýchlosť na fyzickej úrovni,
- $\sum_{i=1}^{N_c} bpc_i$  je suma alokovaných bitov na jednotlivých nosných frekvenciách,
- $t_s$  je doba trvania jedného OFDM symbolu.

$\Delta$  je doba trvania CP (cyclic prefix) ochranného intervalu,  $\Delta f$  vyjadruje frekvenčný rozstup medzi nosnými a je vypočítaný podľa nasledujúceho vzťahu:

$$\Delta f = \frac{R}{N_c - 1} \quad [Hz]. \quad (3)$$

Kde:

- R je šírka frekvenčného pásma,
- $N_c$  je počet využitých nosných kanálov.

Počet alokovaných bitov na jednotlivých nosných frekvenciách je závislý na pomere signál / šum (SNR). Bity sú pridávané v rozsahu 0 – 10 bitov na jednu nosnú frekvenciu. V tomto procese pridávania bitov sa využívajú dve metódy:

- modulácia QAM (Quadrature Amplitude Modulation). Po zmeraní SNR na vedení, software modemu rozhodne o pridelení počtu bitov na jednotlivých nosných frekvenciách. Tento mód umožňuje priradenie až 10 bitov na danú nosnú (QAM 1024),
- metóda HURTO (High-performance Ultra-Redundant Transmission OFDM), ktorá je využitá pri veľmi nízkom SNR. V tomto prípade software prideluje maximálne 2 bity na jednotlivé nosné frekvencie.

## 4.5 Konfigurácia modemu

### 4.5.1 Konfigurácia pomocou webového prehliadača.

Každý modem má štandardne pridelenú IP adresu 10.10.1.69. Využitím internetového prehliadača, zadaním URL: <http://10.10.1.69/> sa nám otvorí konfiguračná stránka. Úvodná stránka je autentifikačná, vyžaduje zadanie hesla. Štandardné prístupové heslo je “paterna”. Po zadaní je užívateľ presmerovaný na hlavnú stránku, ktorá zobrazuje aktuálne nastavenia modemu. Taktiež umožňuje nastavenie jednotlivých parametrov. Pri tomto type konfigurácie je dôležité zmeniť fabričné nastavenie IP adresy, keďže táto predstavuje unikátny identifikátor v rámci jednej siete. V opačnom prípade by dochádzalo ku kolíziám a zariadenia by neboli schopné v rámci jednej siete koexistovať. Toto nastavenie je výhodné pri použití malého počtu zariadení v rámci jedného objektu. Ukážka takéhoto nastavenia je zobrazená na obr. 31.

### 4.5.2 Autokonfigurácia stiahnutím konfiguračného súboru z TFTP servera.

Druhý spôsob konfigurácie je z pohľadu správy užívateľov jednoduchší. Využíva sa pri architektúre siete typu Master-Slave. V tomto prípade sa jedná o autokonfiguráciu modemov. Modem pripojený k sieti začne vysielat' prostredníctvom IFCP protokolu požiadavky o pridelenie IP adresy a zaslanie mena konfiguračného súboru. V takomto prípade je v sieti nutná služba DHCP, ktorá pridelí modemu na základe fyzickej MAC adresy zariadenia IP adresu, masku siete, bránu a meno konfiguračného súboru. Ďalej je nutný v rámci siete funkčný TFTP server obsahujúci konfiguračný súbor. Modem využitím protokolu TFTP stiahne konfiguračný súbor a následne sa sám nakonfiguruje. Bezpečnosť môže byť riešená dvojakým spôsobom. Klasický spôsob autentizácie zariadenia

požadujúceho konfiguráciu je zoznam MAC adries všetkých zariadení. Druhým spôsobom je použitie RADIUS servera, ktorý slúži ako autentizačná autorita a overuje pravosť informácie (hesla). IFCP protokol taktiež rieši situáciu pri použití VLAN protokolu. Ak nie je protokol VLAN použitý konfigurácia prebehne predpísaným spôsobom. Ak sa v sieti používa protokol VLAN, protokol IFCP pošle parameter ifcp-code, ktorý indikuje využitie VLAN.

#### 4.6 Head End firmy Corinex

V ponuke head-endov firma corinex poskytuje viacero možností. Verzie pre prenos po koaxiálnom kábli sú označované "LV Gateway". Tie sú ďalej rozdelené podľa výrobcu na:

- Low Voltage Access Gateway (CXP-LVA-GWYC) Basic Model,
- High Density Low Voltage Access Gateway (CXP-HDA-GWYC).

Jednotlivé produkty sa od seba líšia integrovaným obvodom DSS90xx. Základná verzia (Basic Model) obsahuje rovnaký čip ako modem a to DSS9001. Verzia je vhodná pre menšie siete, v ktorých sa predpokladá počet užívateľov do 32. To je dané použitým integrovaným obvodom, ktorý má pamäť na 64 MAC adries.

Vyššia verzia zariadenia pod názvom High Density Low Voltage Access Gateway je osadená čipom DSS9002. Tento čip má pamäť 1024 MAC adries, preto je využitie tohto zariadenia vhodné v rozsiahlejšej sieti. Výrobca odporúča zapojenie maximálne so 64 káblowymi modemami. Systém komunikácie s káblowymi modemami je založený na technológii TDMA. Pri vyššom počte káblových modemov v danej sieti je nutné použiť Head End v úlohe opakovača časovej domény, ktorý časovú doménu rozdelí a umožní komunikáciu viacerých zariadení. Tým je možné dosiahnuť komunikáciu až 512 káblových modemov. Zariadenie Head End je zobrazené na obr. 16.



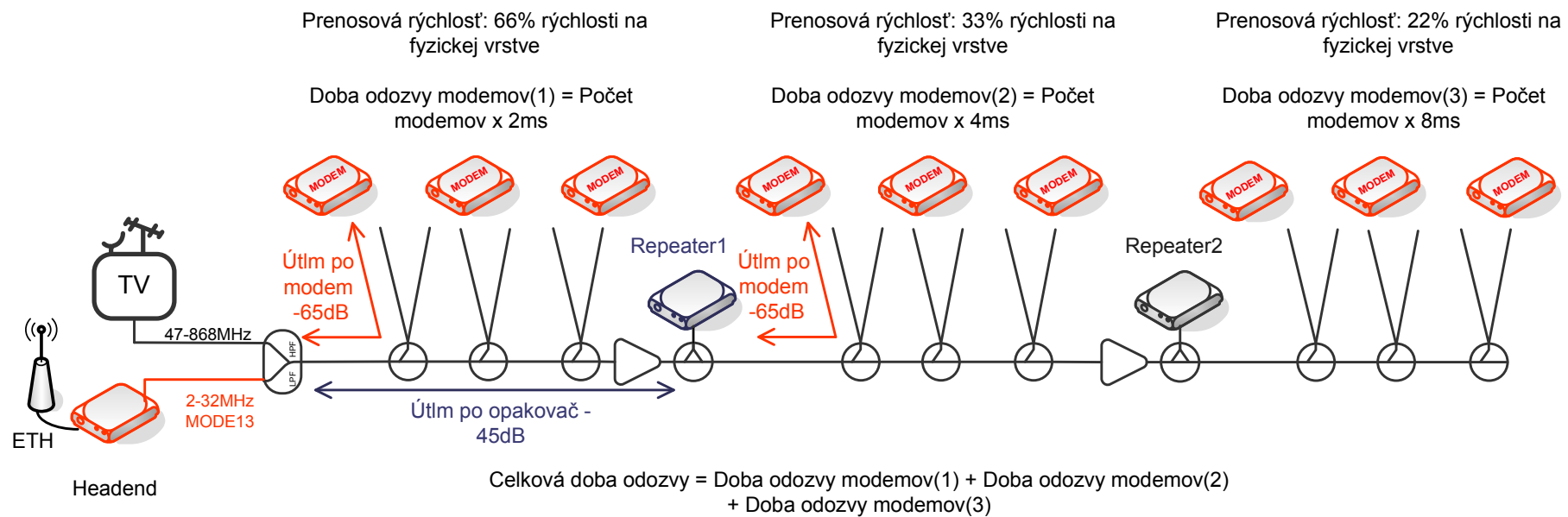
Obr. 16: Head End od firmy Corinex.

## 4.7 Možnosti nasadzovania PLC systému

Nasadenie PLC zariadení je úzko spojené s počtom pripojených užívateľov. Systém je preto nutné navrhnuť podľa počtu užívateľov. Taktiež treba brať do úvahy, že komunikácia prebieha v časovej doméne. To znamená, že využíva mnohonásobný prístup s časovým delením. V rámci jednej časovej domény by nemal počet pripojených zariadení prekročiť 32 zariadení, pretože so zvyšujúcim sa počtom komunikujúcich užívateľov klesá prenosová rýchlosť každého účastníka. V takom prípade je vhodné dátovú sieť rozdeliť na viacero časových domén. Realizácia je možná viacerými metódami:

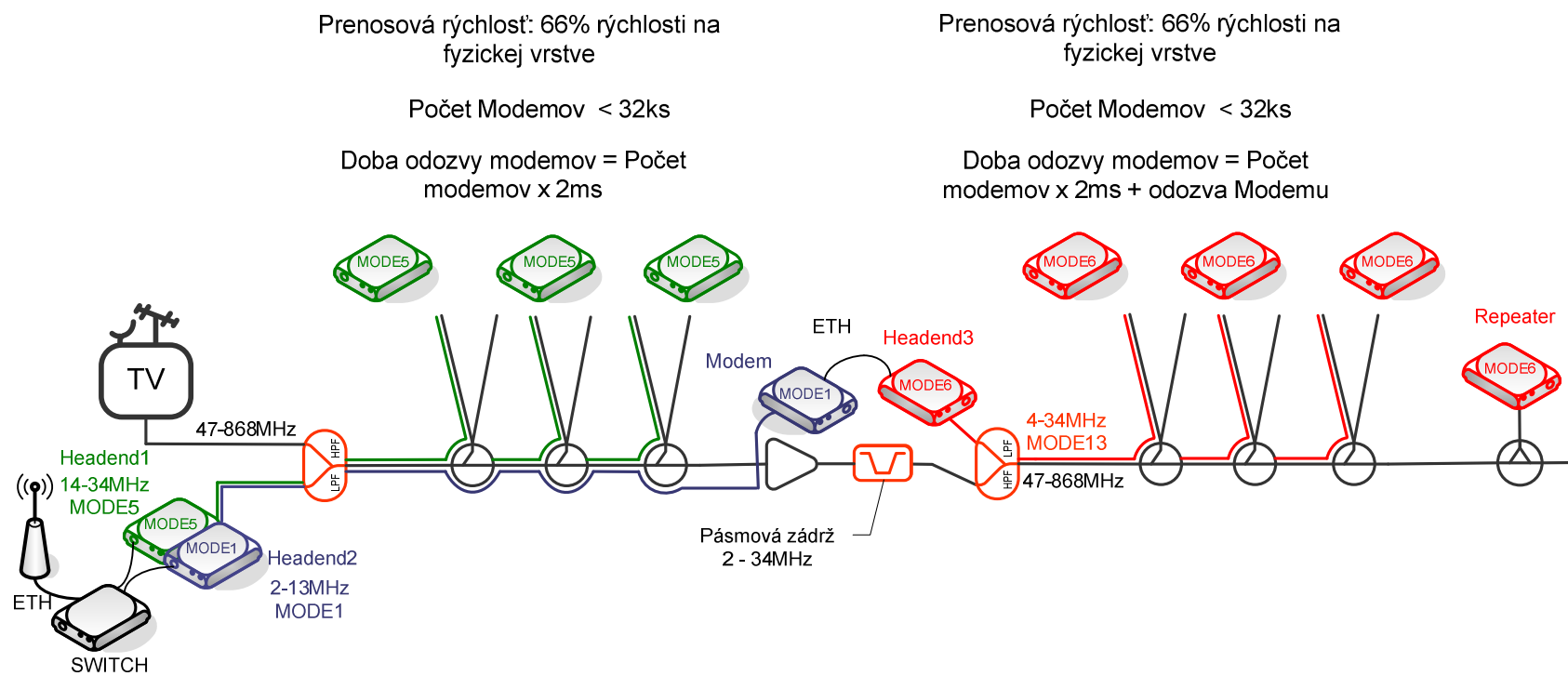
- viacero Head endov v rámci jednej siete, ktoré komunikujú v oddelených pásmach. Napríklad 3 Head endy komunikujúce v prenosových pásmach 1, 2, 3. Týmto sú vytvorené 3 časové domény (separátne siete) pre viacero užívateľov v rámci jednej káblovej siete. Pri tomto riešení klesá maximálna prenosová rýchlosť, keďže sa využíva menšia šírka prenosového pásma,
- fyzické rozdelenie káblovej siete na sektory (siete). Využitie celej šírky pásma v rámci každého sektoru. Týmto je možné vytvoriť ľubovoľný počet časových domén. Jednotlivé Head endy sú potom spojené pomocou technológie Ethernet.

Kombináciou týchto dvoch metód je možné vytvoriť viacero modelov siete. Základné typy siete som vytvoril a zobrazil na obr. 17, obr. 18 a obr. 19. V zobrazených modeloch sú uvedené teoretické parametre vytvorených sietí. Jednotlivé modely je možné podľa potreby ľubovoľne upraviť. Taktiež je možné vytvoriť aj iné modely siete, ktoré budú kombinovať viacero technológií. Avšak na základnú predstavu fungovania uvádzam tieto tri.

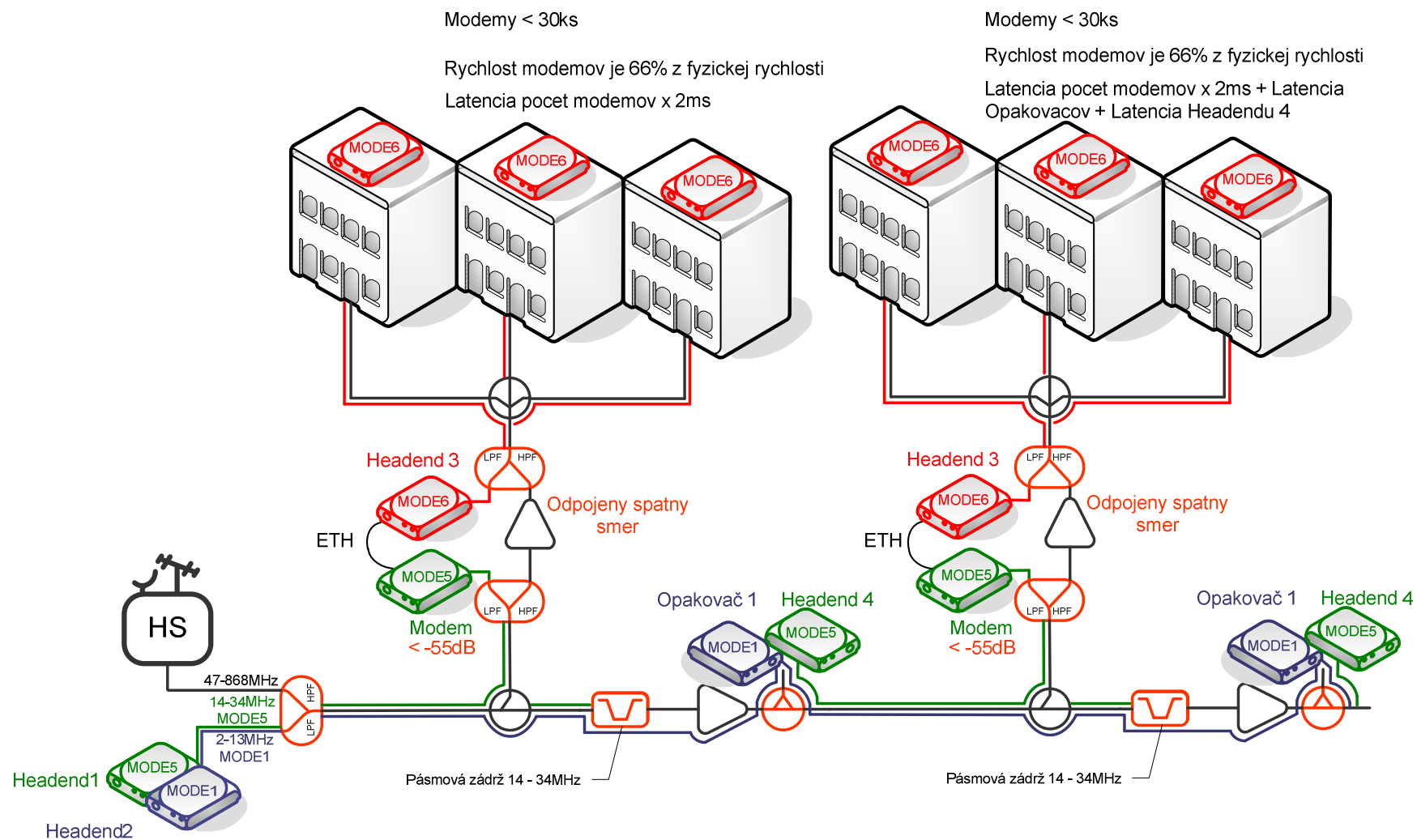


Obr. 17: Model siete do 30 modemov





Obr. 18: Model siete do 100 modemov



Obr. 19: Model siete pre vysoký počet prípojok

## **5 Projektová realizácia**

Táto časť sa bude venovať priamo fyzickou realizáciou projektu v reálnej káblovej sieti. V rámci tejto časti bola vybraná cieľová obec, inštalované produkty PLC od firmy Corinex a namerané niektoré parametre tejto siete.

### **5.1 Výber lokality**

Pre fyzickú realizáciu môjho projektu som spolu s firmou Obecné siete s.r.o. vybral príľahlú lokalitu v oblasti mesta Nitra. Testovacia prevádzka prenosu internetu pomocou PLC zariadení bola vykonaná v obci Branč. Táto obec vlastní káblovú televíziu od roku 1995. Počet prípojok v obci je k dnešnému dnu do 200. Obec sa nachádza 15 km od okresného mesta Nitra odkiaľ je poskytovaná konektivita.

### **5.2 Popis stavu káblovej siete**

Káblová sieť obsahuje približne 30 televíznych kanálov a je v pôvodnom navrhnutom stave. Pred začatím práce je dôležité v mape káblovej siete navrhnuť rozmiestnenie PLC zariadení (Head Endov). Keďže pôvodná dokumentácia sa nedochovala bolo nutné vytvoriť novú mapu s danými trasami. V rámci mojej práce som túto mapu narysoval. Použitú mapu obce som si zabezpečil z Katastrálneho úradu v Nitre. Následne boli do tejto mapy zakreslené primárne, sekundárne a terciárne trasy káblovej siete s príslušnými útlmami jednotlivých odbočiek. Taktiež je tu zakreslené rozmiestnenie Head Endov a pripojených zákazníkov. Vytvorená mapa je uvedená v prílohe D.

### **5.3 Popis navrhovanej dátovej siete**

Navrhnutá dátová sieť je realizovaná pomocou zariadení PLC (viď kap. 4.1,4.6). Prístup k internetu je riešený pomocou bezdrôtového pripojenia z okresného mesta Nitra. Po dohode s firmou som zvolil štandard 802.11a. Tento štandard komunikuje vo frekvenčnom pásme 5 GHz, ktorý poskytuje viacero výhod. Medzi hlavné výhody patrí maximálna prenosová rýchlosť a komunikácia v relatívne málo zarušenom pásme oproti štandardom 802.11b a 802.11g komunikujúcim v pásme 2,4 GHz. Navrhnuté riešenie by mal v budúcnosti slúžiť aj pre zavedenie internetu do iných okolitých obcí. Uvedená firma zaoberá prevažne projektmi zavádzania internetu do malých obcí v okolí miest, kde sú kvalitné dátové služby momentálne stále málo dostupné.

### 5.3.1 Prvý skúšobný návrh dátovej siete

Prvý návrh vytvorenej siete pozostával z jedného Head Endu, ktorý bol umiestený v hlavnej stanici káblovej televízie. Testami v jednotlivých častiach siete bolo zistené, že takýmto návrhom by bolo možné pokryť maximálne 60% káblovej siete. Z dôvodu veľkého útlmu v najvzdialenejších bodoch siete by museli byť použité ďalšie Head Endy v roli opakovačov (repeaterov). Toto riešenie vychádza z modelu uvedeného na obr. 17. Tento model by bol plne funkčný, avšak s prihliadnutím do budúcnosti nie je efektívny, keďže pri veľkom počte pripojených užívateľov by klesala reálna dátová priepustnosť z dôvodu komunikácie v rámci jednej časovej domény. Toto riešenie je vhodné skôr na menšie siete, ktoré budú vytvorené v rámci jedného stavebného objektu (bytová zástavba). Návrh potvrdil funkčnosť daných zariadení, avšak pre túto obec bol nevhodný.

### 5.3.2 Finálny návrh dátovej siete

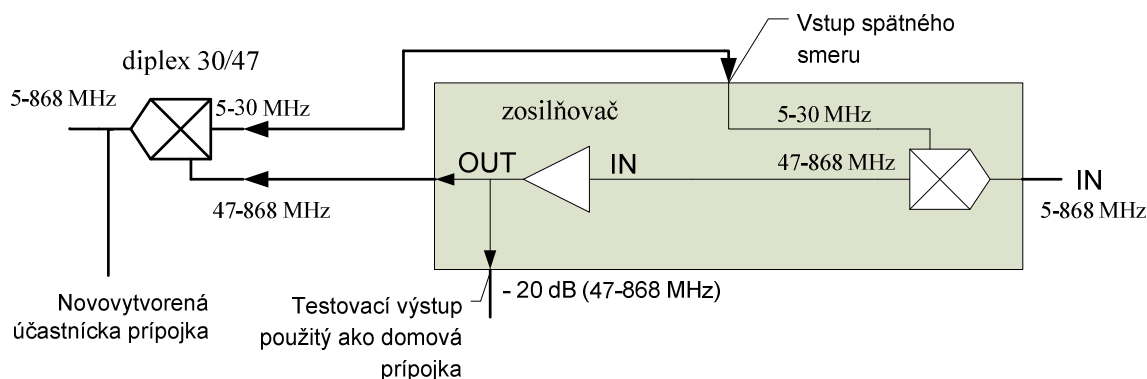
Finálny návrh, podľa ktorého bola sieť budovaná vznikol modifikáciou modelu uvedeného na obr. 18. Návrh pozostáva zo štyroch samostatných Head Endov, ktoré sú prepojené technológiou Ethernet. Uvedeným riešením vzniknú 4 sektory v rámci káblovej siete a 4 časové domény umožňujúce súbežnú komunikáciu viacerých zariadení. Riešenie je vhodnejšie vzhľadom na celkový počet prípojok v danej obci. V prípade veľkého útlmu v najvzdialenejších bodoch siete je možné inštalovať v daných doménach opakovače. Jednotlivé Head Endy sú prepojené štandardom 1000BASE-SX. Táto technológia umožňuje prenos dát až rýchlosťou až 1 Gbit/s a keďže sa jedná o optickú variantu Ethernetu je vysoko odolná proti vonkajšiemu rušeniu. Pripojenie k internetu je umiestnené v hlavnej stanici káblovej televízie, kde sa taktiež nachádza DHCP server pridelujúci jednotlivým zariadeniam IP adresy a taktiež TFTP server, ktorý zabezpečuje autokonfiguráciu jednotlivých zariadení. Bezpečnosť proti ilegálnemu pripojeniu je riešená blokovaním zariadení, ktorých MAC adresa nie je uvedená v zozname (viď kap. 4.5.2). Návrh umožňuje pripojenie až 120 zákazníkov v rámci danej káblovej siete. Prípadnou inštaláciou ďalších dvoch Head Endov umožňuje pokryť celkovú kapacitu káblovej siete. Riešenie sa stáva použitím dodatočnej optickej siete drahšou variantou, avšak do budúcnosti veľmi spoľahlivou variantou. Taktiež v prípade poruchy niektorého Head Endu je postihnutý len jeden z viacerých sektorov. Technické riešenie bude slúžiť ako predloha pre iné obce, ktoré budú postupom času firmou obecné siete s.r.o. pripájané ku kvalitnému a vysokorýchlostnému internetu. Poskytovaná rýchlosť pripojenia k internetu je momentálne 8 Mbit/s obojsmerne, ale rýchlosť bude upravovaná podľa počtu pripojených zákazníkov, keďže sa jedná zdieľanú prenosovú rýchlosť.

## 5.4 Možné problémy spojené s inštaláciou káblového modemu

Pri inštalácii zariadení v reálnom prostredí som sa často stretával s rôznymi prekážkami, ktoré sa vyskytujú až priamo v reálnom prostredí a nie pri testovaní zariadení v laboratórnych podmienkach. Preto budú uvedené niektoré z týchto problémov a ich možné riešenie v nasledujúcich podkapitolách.

### 5.4.1 Napojenie domovej prípojky z testovacieho výstupu zosilňovača

Každý televízny zosilňovač obsahuje testovací výstup, ktorý sa používa pri meraní výstupnej úrovne televízneho signálu. Tento výstup je utlmený 20dB. Primárne je zakomponovaný do zosilňovača pre účely dimenzovania výstupného výkonu zosilňovača počas prevádzky. Týmto je možné nastavovať výstupnú úroveň signálu bez prerušenia služby káblovej televízie. V minulosti sa tento výstup používal taktiež pre napojenie najbližšieho objektu. Avšak takto vytvorené terciárne trasy (domové prípojky) nedisponujú vstupom spätného smeru. Táto prípojka je v prípade žiadosti zákazníka o dátovú službu prevádzkovaná PLC zariadeniami nevhodná, pretože užitočné pásmo 2 MHz – 34 MHz je v takomto prípade odfiltrované. Pre lepšie pochopenie som takýto prípad zapojenia uviedol na obr. 20.

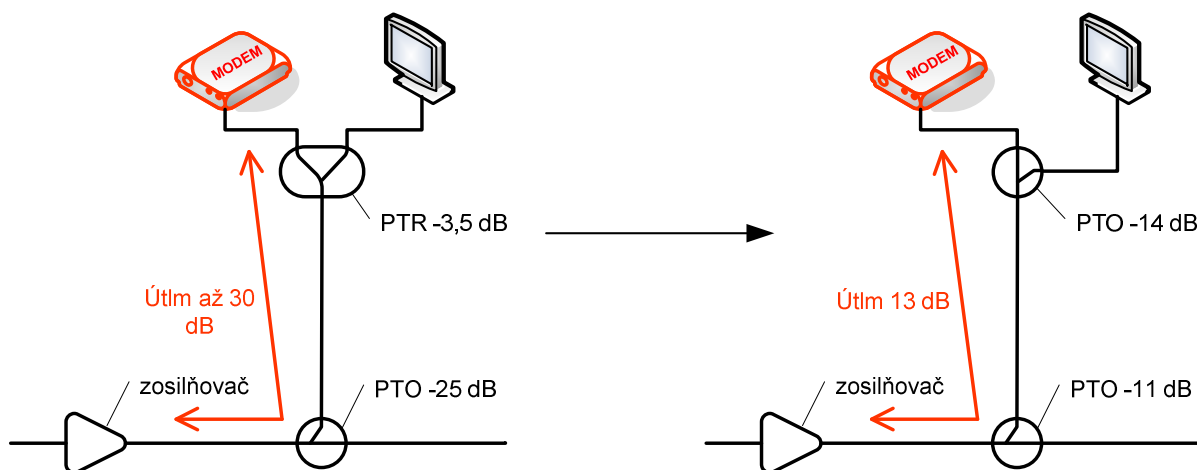


Obr. 20: Schéma zosilňovača s testovacím výstupom

V takomto prípade zapojenia je riešením odpojenie účastníckej prípojky od testovacieho výstupu zosilňovača. Umiestnenie pasívnej televíznej odbočky za premostený zosilňovač, teda v mieste kabeláže za diplexom. Vytvorená domová prípojka obsahuje užitočný signál PLC zariadení a je možné prostredníctvom nej prevádzkovať dátové služby. Vykonané opatrenie je vhodné spraviť pri samotnom premostovaní zosilňovača. Takto je možné vyhnúť sa prípadným problémom v budúcnosti. V rámci môjho projektu boli všetky takéto prípojky popísaným postupom odstránené.

### 5.4.2 Vysoký útlm prípojok umiestnených tesne za televíznym zosilňovačom

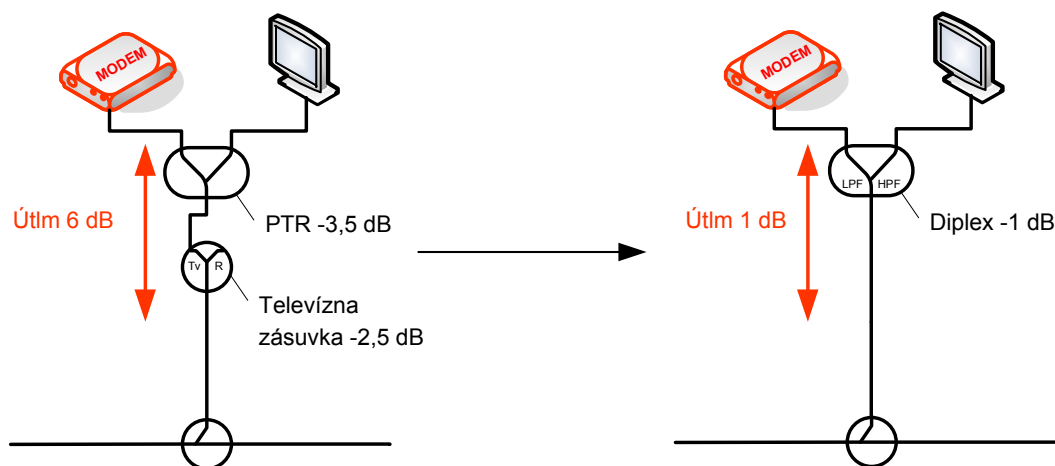
Televízne zosilňovače umiestnené na sekundárnych trasách sú potrebné pre zosilnenie televízneho signálu. Nutná podmienka koexistencie PLC zariadení je premostenie týchto zariadení (viď kap. 3.3.1). Avšak v miestach tesne za zosilňovačom televízneho signálu sa nachádzajú pasívne televízne odbočky z vysokým väzbovým tlmením (25 dB, 22 dB). Keďže PLC systém využíva nezosilnený signál, tieto veľké hodnoty väzbového útlmu nepriaznivo vplyvajú na kvalitu signálu a teda maximálnu možnú dosiahnuteľnú rýchlosť. Preto je v niektorých prípadoch nutná výmena týchto pasívnych televíznych odbočiek za televízne odbočky z nižším väzbovým tlmením. Týmto sa získava nižší útlm medzi účastníckym modemom a Head Endom. Dimenzovanie útlmu televízneho signálu sa prevádza až za rozbočovačom v danom objekte. Taktiež je možné dimenzovať televízny signál použitím ďalšej pasívnej televíznej odbočky. V priechodnom smere bude potom zapojený PLC modem a väzbovo tlmený televízny signál. Popísaným systémom je možné získať podľa prevedenia dodatočných až 15 dB. Princíp popísanej úpravy som zobrazil na obr. 21, kde som uviedol stav pred výmenou televíznej odbočky a po výmene televíznej odbočky.



Obr. 21: Úprava útlmu výmenou pasívnej televíznej odbočky

### 5.4.3 Výmena televíznej zásuvky

Štandardná televízna prípojka je realizovaná prostredníctvom televíznej zásuvky. Tieto zásuvky môžu pôsobiť ako útlmový článok užitočného PLC signálu. Veľkosť útlmu je závislá na type použitej zásuvky. Pri potrebe získania väčšej úrovne užitočného signálu je možná výmena televíznej zásuvky za štandardný duplex. Týmto spôsobom sa dá získať dodatočných 5 dB. Spôsob výmeny alebo televíznej zásuvky je zobrazený na obr. 22.



Obr. 22: Výmena televíznej zásuvky za diplex

#### 5.4.4 Použitie necertifikovaných prvkov káblovej siete

Problém použitia necertifikovaných prvkov káblovej siete sa vyskytuje v domových prípojkách (terciárne trasy). Tieto trasy sa nachádzajú na pozemku samotných užívateľov. Preto sú obvykle upravované samotnými zákazníkmi káblovej televízie. Prípojky sú často rozdeľované na viacero trás pomocou rozbočovačov(odbočiek). Niekedy sa tu vyskytujú aj domové zosilňovače televízneho signálu, ktoré sú inštalované pri veľkom počte televíznych prijímačov. Takéto úpravy sú naproste nevhodné, keďže zvyšujú útlm na trase modem - Head End. Zákazníci v snahe ušetrenia peňazí obvykle používajú necertifikované pasívne prvky CATV, ktoré sa správajú ako frekvenčné filtre užitočného pásma PLC zariadení. Tieto prvky pracujú spoľahlivo v pásme televízneho signálu 47 MHz – 868 MHz, avšak pásmo nízkych frekvencií, ktoré je použité na dátový prenos značne degradujú (nelineárny útlm v pásme 2 MHz – 34 MHz, väčší útlm ako je uvedené). Preto je vhodné pred samotnou inštaláciou modemu overiť domovú inštaláciu koaxiálnej kabeláže, či sa na nej takéto prvky nenachádzajú, prípadne prvky odstrániť alebo vymeniť za certifikované prvky. Všetky tieto opatrenia slúžia na zníženie útlmu, ktorý je zachovať na najnižšej úrovni. Týmto sa dosahuje vysoký pomer SNR, tým vysoké prenosové rýchlosti a spoľahlivosť.

#### 5.5 Testovanie a meranie parametrov vytvorenej dátovej siete a overenie funkčnosti

Testovanie parametrov siete sa vykonáva pri inštalácii účastníckeho modemu, ale taktiež pri zistení porúch, ktoré zamedzujú prevádzku dátových služieb. Na testovanie stavu modemov (Head Endov) môžeme použiť viacero techník, ktoré budú bližšie popísané. Testy umožňujú zobraziť prenosovú rýchlosť medzi PLC modemom a Head Endom, momentálny stav zariadenia a konfiguráciu. Pomocou externých programov je možné určiť

SNR a útlm na trase medzi modemom a Head Endom. Overenie spojenia je taktiež možné určiť pomocou signalizácie LED diód na modeme (viď príloha A).

### **5.5.1 Testovanie pomocou protokolu Telnet**

Najjednoduchšou možnosťou otestovania spojenia je možné pomocou protokolu Telnet. Protokol Telnet je typu klient - server. Štandardne komunikujúci pomocou protokolu TCP na porte 23. Pri znalosti pridelenej IP adresy je možné pripojiť sa k danému zariadeniu (ak je to povolené) a získať potrebné informácie. Modem umožňuje zobraziť rýchlosť komunikácie na fyzickej rýchlosti, aktuálnu konfiguráciu zariadenia (MAC adresu zariadenia, konfiguráciu sieťového rozhrania, verziu firmwaru, dobu prevádzky a frekvenčné pásmo v ktorom daný modem z Head Endom komunikuje).

### **5.5.2 Testovanie pomocou webového prehliadača**

Uvedené zariadenia podporujú pripojenie sa pomocou webového prehliadača. Pomocou autentifikácie heslom sú sprístupnené základné informácie o danom zariadení. Obrazovka programu (Print Screen) so základnými parametrami modemu je zobrazená na obr. 31 v prílohe C. Pole Node Mode nám určuje či sa jedná o modem (CPE) alebo Head End (HE). Pomocou tohto typu pripojenia je možné previesť diaľkový reštart zariadenia alebo počiatočné nastavenie z výroby (Factory Reset). Veľmi dôležitá je zmena prístupového hesla, pretože každý účastník v sieti je schopný pripojiť sa na iné zariadenia.

### **5.5.3 Testovanie pomocou programu SNR Scope**

Program bol vyvinutý samotnou firmou Corinex na žiadosť odberateľov zariadení. Meranie SNR si vyžaduje spektrálny analyzátor, ktorého zakúpenie je finančne náročné. Preto je možné tieto parametre merať softwarovým riešením. SNR Scope je aplikácia vyvinutá v programovacom jazyku Labwiev. Tento programovací jazyk umožňuje návrh a realizáciu virtuálneho meracieho prístroja. Jednotlivé informácie sú získavané priamo z dvojice komunikujúcich zariadení (Head End - Modem). Touto aplikáciou je možné zmerať charakteristiku SNR, útlm na trase Head End - modem, priemerný odstup signálu od šumu, priemernú prenosovú rýchlosť na fyzickej vrstve alebo aktuálnu prenosovú rýchlosť so zobrazením grafu aktuálnej prenosovej rýchlosti. Grafické rozhranie tejto aplikácie je zobrazené na obr. 32 v prílohe C.

### **5.5.4 Meranie reálnej prenosovej rýchlosti pomocou aplikácie Iperf Jperf**

Aplikácia Iperf je verejne dostupná a umožňuje meranie skutočných prenosových rýchlostí (bez réžie) tým, že vytvára TCP alebo UDP dátové toky. Aplikácia predstavuje moderný nástroj určený na meranie prenosových rýchlostí na štvrtej vrstve ISO/OSI a jej zdrojový kód je napísaný v programovacom jazyku C++. Program je typu klient server.



Umožňuje meranie prenosových rýchlostí (priepustnosti siete) medzi dvomi bodmi siete jednosmerne alebo obojsmerne. Veľká výhoda spočíva v tom, že aplikácia beží na rôznych platformách operačného systému (Linux, Unix, Windows). Iperf je podporovaný Národným centrom pre aplikovaný výskum siete. Osobne som používal variantu Jperf, ktorá poskytuje grafické rozhranie. Toto umožňuje jednoduchšie ovládanie a nastavovanie parametrov testov. Variant Jperf je založený na pôvodnom programe Iperf, ale je napísaný v programovacom jazyku Java. Grafické rozhranie tejto aplikácie som zobrazil na obr. 33 v prílohe C.

### 5.5.5 Meranie Bitovej chybovosti

Ďalším dôležitým parametrom, ktorým je určená kvalita dátového signálu je bitová chybovosť (BER). Tento parameter je úzko spojený s odstupom signálu od šumu (SNR). Bitová chybovosť (BER) je závislá na použitej kódovej modulácii. Obecne platí, že čím je väčšia hodnota SNR, tým je možné použiť citlivejšiu modulačnú schému, ktorou sa zvýši spektrálna účinnosť a prenosová rýchlosť. Systém PLC tieto modulačné schémy adaptívne upravuje podľa meraní parametrov komunikačnej linky (SNR, útlm na vedení, interferencie). Avšak meranie tohto typu sa mi nepodarilo uskutočniť pomocou PLC zariadení a softwarového meracie prístroja SNR Scope. Ten možnosť merania bitovej chybovosti neposkytoval. Parameter nie je zobrazovaný ani pri pripojení pomocou terminálovej služby. Hardwarové riešenie, teda skutočný merač BER sa mi v rámci projektu nepodarilo zaobstarať. V rámci projektu OPERA boli podobné merania prevedené pomocou zariadení PLC, tieto merania som uviedol v tab. č. 5.

Tab. č. 5 : Minimálne SNR k dosiahnutiu daného BER pri rôznych modulačných schémach [12].

Modulácia	Pridelené bity	SNR (dB)			
		BER<10 <sup>-3</sup>	BER<10 <sup>-4</sup>	BER<10 <sup>-5</sup>	BER<10 <sup>-6</sup>
BPSK	1	6,9	8,5	9,6	10,5
QPSK	2	9,9	11,5	12,6	13,5
8QAM	3	13,9	15,4	16,6	17,4
16QAM	4	16,6	18,3	19,5	20,5
32QAM	5	20,2	21,7	22,8	23,7
64QAM	6	22,8	24,5	25,7	26,6
128QAM	7	26,2	27,7	28,8	30,0
256QAM	8	28,7	30,4	31,6	32,8
512QAM	9	32	33,6	34,9	35,7
1024QAM	10	34,6	36,4	37,7	38,7

Z nameraných hodnôt si môžeme odvodiť maximálnu rýchlosť, ktorá bude dosiahnutá na danej linke. Pre dosiahnutie maximálnej prenosovej rýchlosti PLC zariadení (200Mbit/s) pri bitovej chybovosti  $10^{-6}$ , je potrebné dosiahnuť hodnotu SNR 38,7 dB.

### **5.5.6 Problémy kontinuálneho merania parametrov**

Pri meraní parametrov siete je vhodné tieto merania s určitým odstupom zopakovať. Niektoré parametre ako šum na vedení a úzkopásmové rušenie sa môžu v priebehu času meniť. V káblovej sieti sa tieto parametre vďaka použitému prenosovému médiu menia len veľmi málo. Oproti tomu elektrická sieť vykazuje väčšiu premenlivosť uvedených parametrov. V rámci mojej práce som chcel takéto meranie uskutočniť, avšak stretol som sa s problémom, ktorý takéto meranie v čase obmedzuje. Problémom je špeciálny firmware, ktorý obsahujú modemy dodávané našim dodávateľom. V snahe zefektívniť prenosovú rýchlosť v sieti, obsahujú modemy Corinex špeciálny časovač, ktorý uvádza modem pri nečinnosti po dobu 10 minút do takzvaného “stand by” režimu. Zlepšenie prenosovej rýchlosti spočíva v tom, že Head End obsluhuje menší počet modemov v rámci jednej časovej domény (menší počet zariadení sa delí o spoločné prenosové pásmo). Ak sa modem uvedie do tohto režimu, komunikácia v smere Head End - modem nie je možná. Z tohto dôvodu nie je možné použiť uvedené meracie techniky popísané v predchádzajúcich kapitolách. Taktiež neexistuje možnosť odoslania špeciálneho “alive paketu”, ktorý by zariadenie uviedol do normálneho režimu. Modem sa uvádza do normálneho režimu až pri komunikácii zo strany modem - Head End (Počítač - Brána). Z uvedeného problému je jasné, že merania v náhodnom čase sú závislé na tom, či užívateľ dátovú sieť využíva alebo v krátkom časovom intervale prestal používať. Výhody tohto režimu sú diskutabilné. Na jednej strane zefektívňujú prenos ostatných komunikujúcich zariadení v rámci jednej časovej domény, na druhej strane služby (vzdialená plocha Windows, FTP server alebo HTTP server) by bolo zložité pomocou takejto úpravy firmwaru prevádzkovať.

## **5.6 Namerané parametre siete**

Pomocou aplikácii uvedených v kap. 5.5. boli namerané vybrané parametre vytvorenej siete. Meranie sa prevádzalo diaľkovo zo strany Head End - modem. Merania skutočných prenosových rýchlostí pomocou aplikácie Jperf bolo realizované tak, že na strane Head Endu bol umiestnený počítač v roli serveru a na strane užívateľa sa používal klient tejto aplikácie. Umiestnenie jednotlivých Head Endov a modemov v rámci siete je zaznamenané v priloženej mape káblovej siete obce Branč. Keďže prevádzka dátovej siete bola spustená až v máji tohto roku, momentálny počet zapojených a zmeraných modemov je len 6. Avšak tento počet sa bude v krátkej dobe zvyšovať. Počet nahlásených záujemcov je 50. Taktiež je technológiu PLC možné ďalej kombinovať s klasickým Ethernetom.

Tab. č. 6: Porovnanie prenosovej rýchlosti na fyzickej vrstve a transportnej vrstve

	Priemerná (maximálna) upload rýchlosť na fyzickej vrstve	Priemerná (maximálna) download rýchlosť na fyzickej vrstve	Priemerná upload rýchlosť na transportnej vrstve	Priemerná download rýchlosť na transportnej vrstve
Dvojica zariadení	[Mbit/s]	[Mbit/s]	[Mbit/s]	[Mbit/s]
Modem 1 Head End4	24 (42)	42 (59)	14	24
Modem 2 Head End1	40 (56)	50 (66)	24	31
Modem 3 Head End1	36 (42)	43 (59)	21	26
Modem 4 Head End2	61 (85)	108 (126)	38	66
Modem 5 Head End2	51 (74)	117 (157)	32	81
Modem 6 Head End2	69 (94)	114 (152)	44	78

Tab. č. 7: Namerané parametre PLC signálu pri jednotlivých spojeniach

	Priemerná hodnota SNR na strane modemu	Priemerná hodnota SNR na strane Head Endu	Priemerný útlm signálu na strane modemu	Priemerný útlm signálu na strane Head Endu
Dvojica zariadení	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
Modem 1 Head End1	18,37	16,60	61,64	63,52
Modem 2 Head End1	19,11	17,02	61,75	63,23
Modem 3 Head End1	17,87	14,22	60,55	63,11
Modem 4 Head End1	24,96	17,28	52,59	57,28
Modem 5 Head End1	31,67	20,67	42,43	48,98
Modem 6 Head End1	30,62	23,30	45,29	50,60

V obci sa nachádza nová bytová výstavba, v ktorej bola naprojektovaná sieťová infraštruktúra. Pomocou modemu č.5. bolo v tejto bytovej zástavbe napojených ďalších 7 zákazníkov. V tab. č. 6 som uviedol porovnanie prenosových rýchlostí na fyzickej vrstve a transportnej vrstve. Rýchlosť na transportnej vrstve vyjadruje reálnu rýchlosť dátového prenosu(bez réžie). V tab. č. 7 som uviedol namerané parametre prenosovej linky medzi dvomi uvedenými zariadeniami. V prílohe B sú zobrazené namerané charakteristiky SNR pri daných spojeniach.

## 5.7 Náklady na realizáciu projektu

Náklady na projekt zahŕňajú ceny zariadení, ktoré bolo nutné zakúpiť a inštalovať v rámci danej siete. Na streche hlavnej stanice CATV boli inštalované zariadenia pre príjem internetového signálu. Ďalej bol v tomto objekte inštalovaný počítač, ktorý slúži ako DHCP a TFTP server. Taktiež je v tomto objekte inštalovaný switch, na ktorý sú jednotlivé Head Endy pomocou technológie Ethernet pripojené. Ceny jednotlivých zariadení a materiálu sú uvedené v tab. č. 8.

Tab. č. 8: Cena zariadení potrebných pre realizáciu projektu

Názov zariadenia	Cena za kus/m s DPH	Počet kusov/m	Celková cena s DPH
Head End	12 000	4	48 000
Modem Corinex AV 200	2 600	6	15 600
Diplex 30/47	285	19	5 415
FO kábel, 50/125, 4c,	19,16	1500	28 740
Konvertor 100Base-TX/FX SC	950	4	3 800
Switch SGSW-2840	7 863	1	7 863
MGB-SX, mini GBIC	1 110	4	4 440
Optické koncovky	200	8	1 600
Počítač(DHCP,TFTP)	8 500	1	8 500
Mikrotik RouterBOARD RB333	1 562	1	1 562
Karta miniPCI 802.11a	654	1	654
Case pre RB333	530	1	530
Anténa smerová UNI-530 30dBi/5GHz	1 930	1	1 930
<b>Celková cena produktov</b>			<b>128 634 Kč</b>

V celkovej cene neboli uvedené ceny spotrebného materiálu (F konektory, UTP konektory, UTP patch káble), keďže tieto tvoria minimálnu časť z uvedenej ceny. Každé nové pripojenie zákazníka potom predstavuje náklady len za modem, teda 2600 Kč. V príslušenstve modemu sa nachádza všetko potrebné pre pripojenie zákazníka (rozbočovač CATV, UTP patch kábel, koaxiálny kábel). Pri neštandardných situáciách uvedených v kap. 5.4 sa uvedené náklady na zriadenie prípojky podľa situácie môžu zvýšiť.

## Záver

Využitie PLC technológie na šírenie dátového signálu v káblovej sieti je veľmi zaujímavým pre internetových poskytovateľov a užívateľov. Doterajšiu možnosť šírenia dátového signálu predstavuje štandard DOCSIS a EuroDOCSIS. Avšak pri použití tohto systému sú nutné veľmi vysoké finančné investície. Systém je preto finančne výhodný len vo veľkých aglomeráciách a vo väčšine prípadov je používaný len vo veľkých mestách. V prípade menších aglomerácií akými sú obce predstavuje technológia PLC sľubnú konkurenciu k tradičným širokopásmovým prístupovým technológiám. Obrovskou výhodou je ponechanie pôvodnej kabeláže a prvkov káblovej televízie. Zariadenia PLC fungujú v oblasti nízkych frekvencií a s pôvodným televíznym vysielaním nemajú nič spoločné. Tieto služby sa navzájom nerušia. V káblovej sieti sú nutné len malé úpravy, ktoré boli v práci popísané. Tento systém je finančne o veľa menej náročný ako štandard DOCSIS. PLC zariadenia využívajú moduláciu OFDM, ktorá sa dokáže prispôbiť aktuálnym prenosovým podmienkam na koaxiálnom vedení tým, že dokáže regulovať počet bitov alokovaných na jednotlivé nosné frekvencie na základe SNR. Taktiež táto modulácia poskytuje ochranu proti ISI a ICI interferenciám, ktoré sa pri systémoch s viacerými nosnými vyskytujú. Ďalej bol popísaný model káblovej siete s umiestnením zariadení PLC a potrebné úpravy na jednotlivých trasách CATV.

V ďalšej časti som vybral zariadenia od firmy Corinex, keďže predstavujú momentálnu špičku v tomto sortimente zariadení. Zariadenia dosahujú rýchlosti až 200 Mbit/s na fyzickej úrovni, čo je v dnešnej dobe dostačujúci limit pre väčšinu internetových užívateľov. Architektúra siete je Master-Slave, kde centrálnym riadiacim prvkom je zariadenie Head End, ktoré obsluhuje káblové modemy PLC. Uvedené boli spôsoby konfigurácie a možnosti nasadenia zariadení. Navrhol som základné modely siete podľa počtu zákazníkov.

V ďalšom kroku bola vybraná obec Branč, v ktorej sa uskutočnila fyzická realizácia môjho projektu. V rámci inštalácie týchto zariadení boli uskutočnené merania výkonu signálu, útlmu signálu a SNR v jednotlivých častiach siete. Taktiež boli zmerané rýchlosti komunikácie v jednotlivých spojeniach Head End - modem. Umiestnenie PLC zariadení som zaznamenal do narysovanej mapy káblovej siete.

V rámci môjho projektu bolo pripojených 12 klientov k internetovej sieti. Títo boli pripojení pomocou šiestich modemov. Modem č.5 bol inštalovaný v bytovej výstavbe, v ktorej sa nachádzala vlastná privátna sieť. Táto umožnila napojenie siedmich zákazníkov pomocou jedného modemu. Momentálne sú pripájaní ďalší zákazníci a projekt u ľudí vzbudil veľký záujem. Veľkou výhodou je, že si zapojenie nevyžaduje žiadne zásahy do domov (bytov) zákazníkov, keďže sa využíva pôvodná kabeláž káblovej televízie. Momentálna poskytovaná rýchlosť k internetu je 8 Mbit/s (obojsmerne), čo predstavuje v dnešnej dobe dostatočnú rýchlosť pripojenia k internetu. Rýchlosť bude upravovaná podľa počtu zákazníkov využívajúcich pripojenie k internetu.

Tento spôsob prenosu sa v praxi veľmi dobre osvedčil a firma Obecné siete s.r.o. ju plánuje využívať aj v iných lokalitách v okruhu jej pôsobnosti. Z finančného hľadiska sa

javí použitie PLC zariadení v rámci káblovej siete veľmi lákavou alternatívou oproti ostatným technológiám. Technológia má však aj svoje obmedzenia a charakterom prenosu signálu (nezosilnený spätný prenosový kanál) je použitie vhodné skôr pre menšie káblové siete.

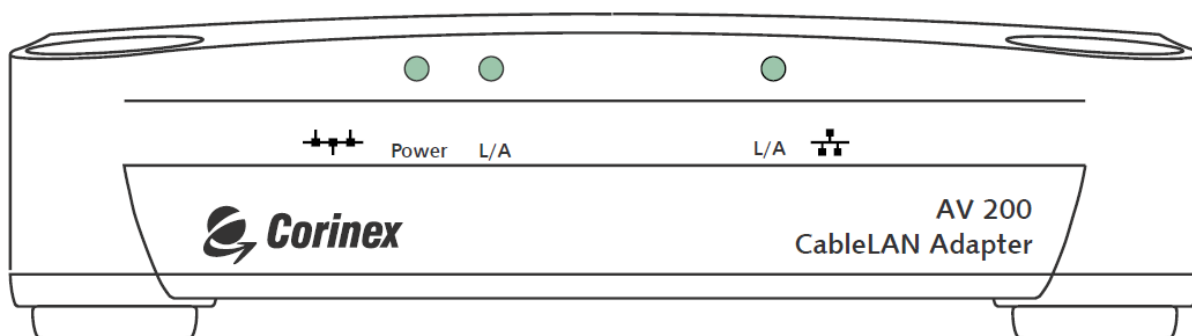
## Použitá literatúra

- [1] Žalud, Václav. Moderní radioelektronika / 1. vyd. Praha : BEN - technická literatura, 2000. 653 s. ISBN 80-86056-47-3
- [2] Hrasnica, Halid. Broadband powerline communications networks :network design / Chichester: John Wiley & Sons, c2004. 275 s. ISBN 0-470-85741-2
- [3] DÁVIDIK, Peter. *Koaxiálny kábel nemusí byť pre počítačovú sieť TABU*. [online]. 24.05.2007. [cit. 2008-11-19].Dostupný z WWW: <<http://www.hardware.sk>>.
- [4] HÁJEK , J.. *Vývoj standardů pro kabelové modemy* [online]. 04. 12. 2005. [cit. 2008-11-28].Dostupný z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz>>.
- [5] *Čo je to CATV?* [online]. 2005. Dostupný z WWW: <<http://www.pripojsa.sk>>.
- [6] ŠILHAVÝ, P.. ModulaceDMT (Discrete MultiTone), *ELEKTROREVUE* <<http://www.elektrorevue.cz>> 6/2001, ISSN 1213-1539.
- [7] Corinnex Anywire Connectivity. *Access System Configuration Manual*
- [8] *Tes-slovakia-* veľkoobchodný predaj pre káblovú televíziu [online]. [cit. 2008-11-20].Dostupný z WWW: <<http://www.tes-slovakia.sk>>.
- [9] *City ONLINE-* dodávateľ technológie PLC [online]. [cit. 2008-11-11]. Dostupný z WWW: <http://www.cityonline.sk>
- [10] ZVT-PREVIS, a.s. – Výroba komponentov pre káblové rozvody [online]. [cit. 2008-12-03]. Dostupný z WWW: <http://www.previs.sk>
- [11] DS2/DEFIDEV. *PLC End-user modem USER MANUAL*.
- [12] OPERA.. *Specification for a Coexistence Mechanism (access /inhome PLC),*<[www.istopera.org/opera1/downloads/D18/OP\\_WP2\\_Deliverable\\_D18\\_v1.01.pdf](http://www.istopera.org/opera1/downloads/D18/OP_WP2_Deliverable_D18_v1.01.pdf)> 12/2005

## PRÍLOHY

### PRÍLOHA A: Popis a Technické parametre káblového modemu AV200 CableLAN

#### Popis predného panelu:



Obr. 23: Predný panel modemu AV200 CableLAN

Predná časť obsahuje trojicu signalizačných diód:

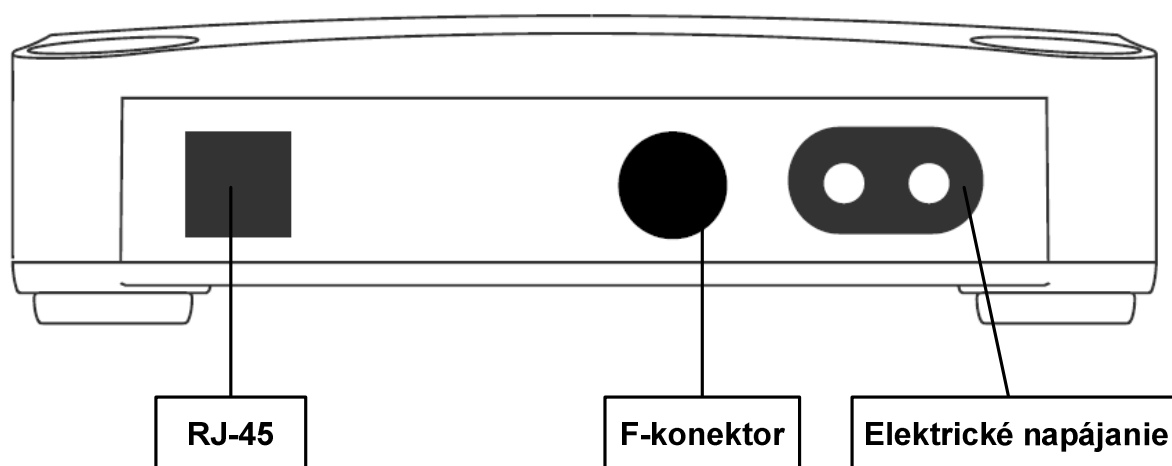
1. **POWER** označuje stav zariadenia:
  - dióda vypnutá - zariadenie je vypnuté,
  - dióda bliká - zariadenie je zapnuté.
2. **L/A** označujú aktivitu na koaxiálnom vedení:
  - dióda vypnutá - zariadenie nekomunikuje s Head endom,
  - dióda bliká - Príjanie / Odosielanie dát.
3. **L/A Ethernet** označuje aktivitu na Ethernet vedení:
  - dióda vypnutá - zariadenie nie je pripojené k sieti LAN,
  - dióda zapnutá - zariadenie je pripojené k sieti LAN,
  - dióda bliká - Príjanie / Odosielanie dát.

#### Popis zadného panelu:

Zadný panel modemu obsahuje 3 rozdielne konektory:

- 1x konektor RJ-45 LAN10/100 Fast Ethernet,
- 1x F konektor,
- napájanie 230 V.





Obr. 24: Zadný panel modemu AV200 CableLAN

#### Technické parametre:

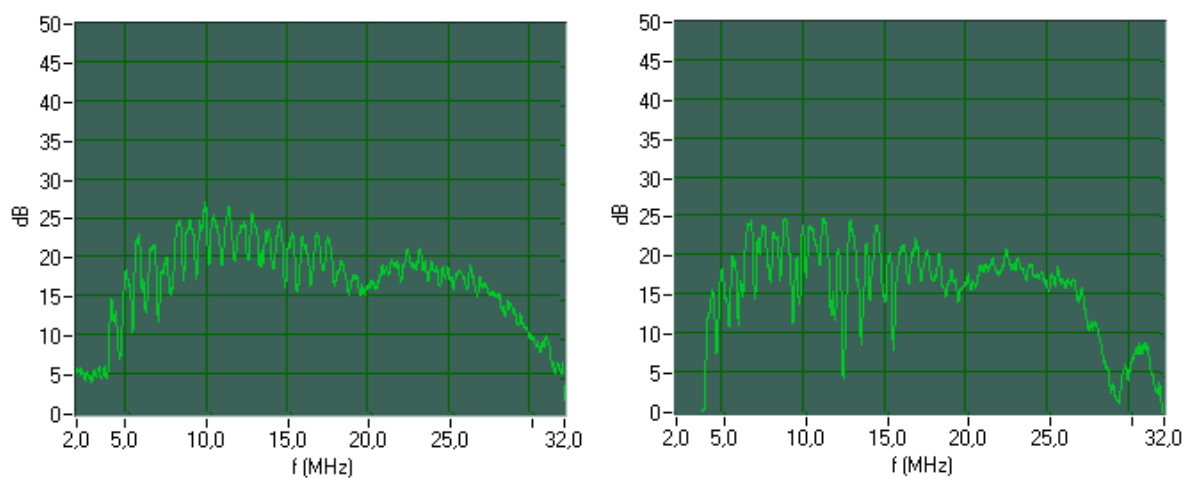
Tab. č. 9: Technické parametre modemu AV200 CableLAN

Norma zariadenia	IEEE 802.3u, UPA
Prenosová rýchlosť	Maximálne 204 Mbit/s na fyzickej vrstve
Konektory elektrického napájania	EU – 230V (tiež UK, UZ, AUS)
LED signalizácia stavov	Stav napájania, Ethernet a koaxiálnej linky
Rozhranie zariadenia	10/100 Base T Fast Ethernet, F
Frekvenčný rozsah	2 – 34 MHz
Elektrické napájanie	85 – 265 V AC, 50/60 Hz
Rozmery	148 mm x 106 mm x 47 mm
Spektrálna výkonová hustota	-56 dBm/Hz
Spotreba el. energie	5W
Norma bezpečnosti a EMI	UL/FCC časť 15, schválené podľa medzinárodných štandardov

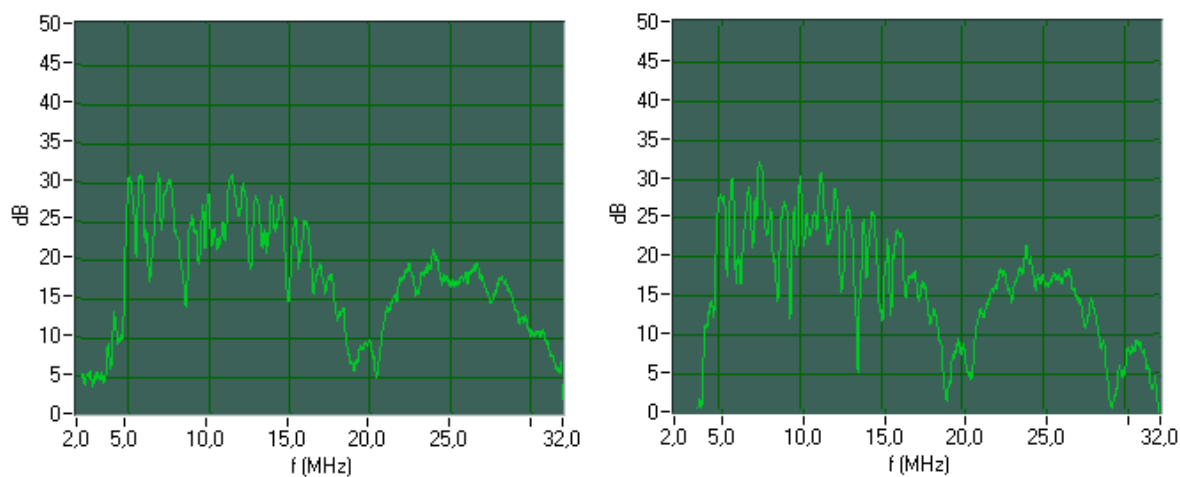
#### Systémové požiadavky:

- počítač na platforme Windows 98/ME/2000/NT/XP, Mac OS alebo Linux,
- jeden Ethernet 10/100 Mbit/s port,
- prehliadač podporujúci Javascript pre konfiguráciu zariadenia(Internet Explorer, Opera, Mozilla, Mozzila Firefox ...).

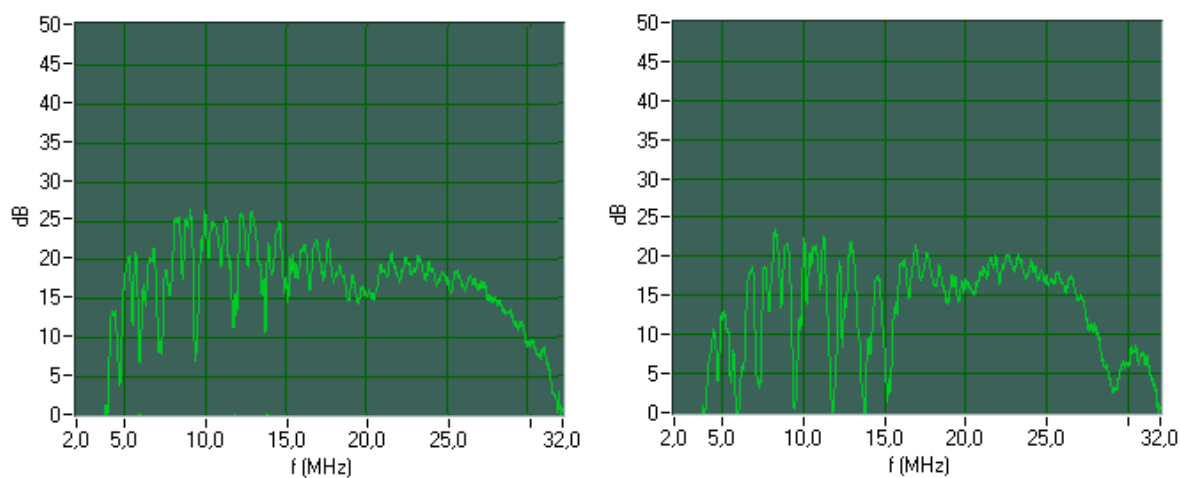
## PRÍLOHA B: Pohľad na SNR pri jednotlivých spojeniach



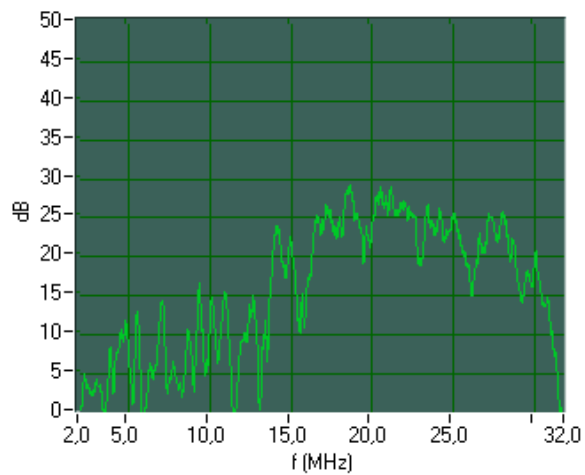
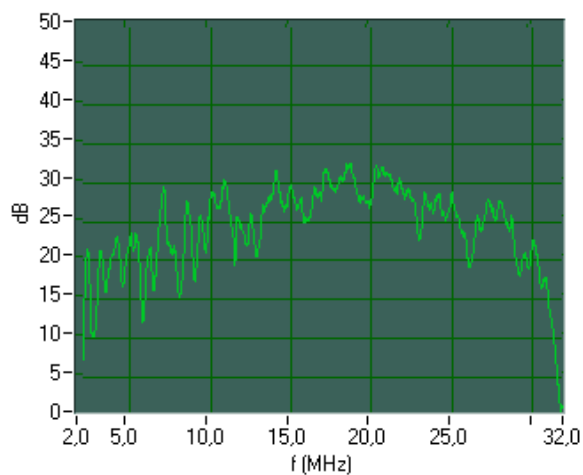
Obr. 25: SNR na strane modemu č.1 a Head Endu č.4



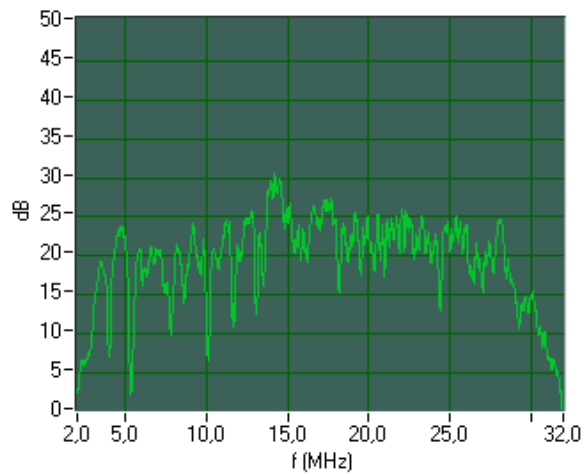
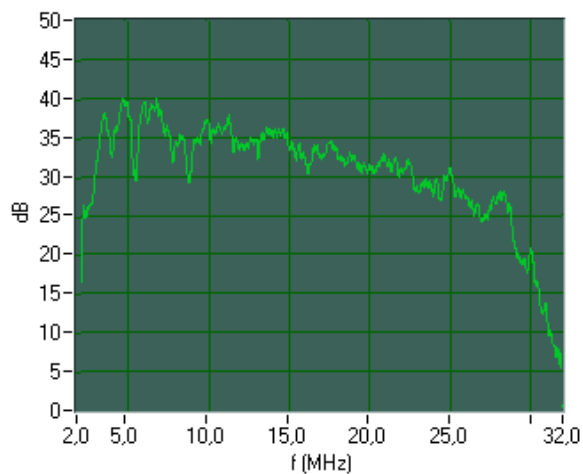
Obr. 26: SNR na strane modemu č.2 a Head Endu č.1



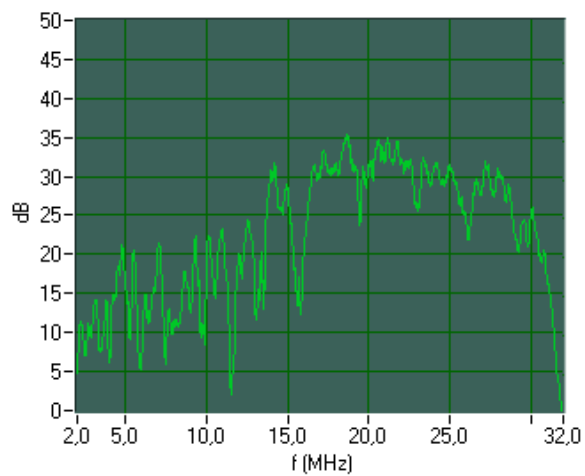
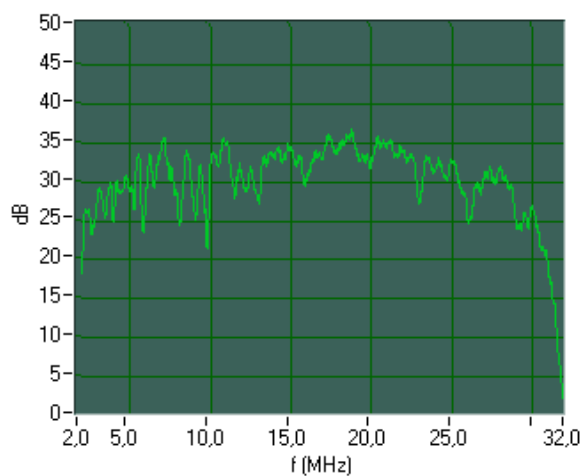
Obr. 27: SNR na strane modemu č.3 a Head Endu č.1



Obr. 28: SNR na strane modemu č.4 a Head Endu č.2



Obr. 29: SNR na strane modemu č.5 a Head Endu č.2



Obr. 30: SNR na strane modemu č.6 a Head Endu č.2

## PRÍLOHA C: Ukážky grafických rozhraní jednotlivých meracích aplikácií

Uptime	3 days, 1h 44m 44s
Firmware Version	alma_dh10p_9001_v2_ba v3_2_48_cvs
Auto-configuration	Enabled
IFCP Mode	Enabled

[Change configuration](#)

Network Status	
IP Configuration	Fixed
IP Address	10.0.0.162
Subnet Mask	255.0.0.0
Default Gateway IP Address	192.168.1.105

[Change configuration](#)

MAC Status	
MAC Address	000BC2304177
MAC Type	Access
Node Mode	CPE

[Change configuration](#)

PHY Status	
Link Mode	13

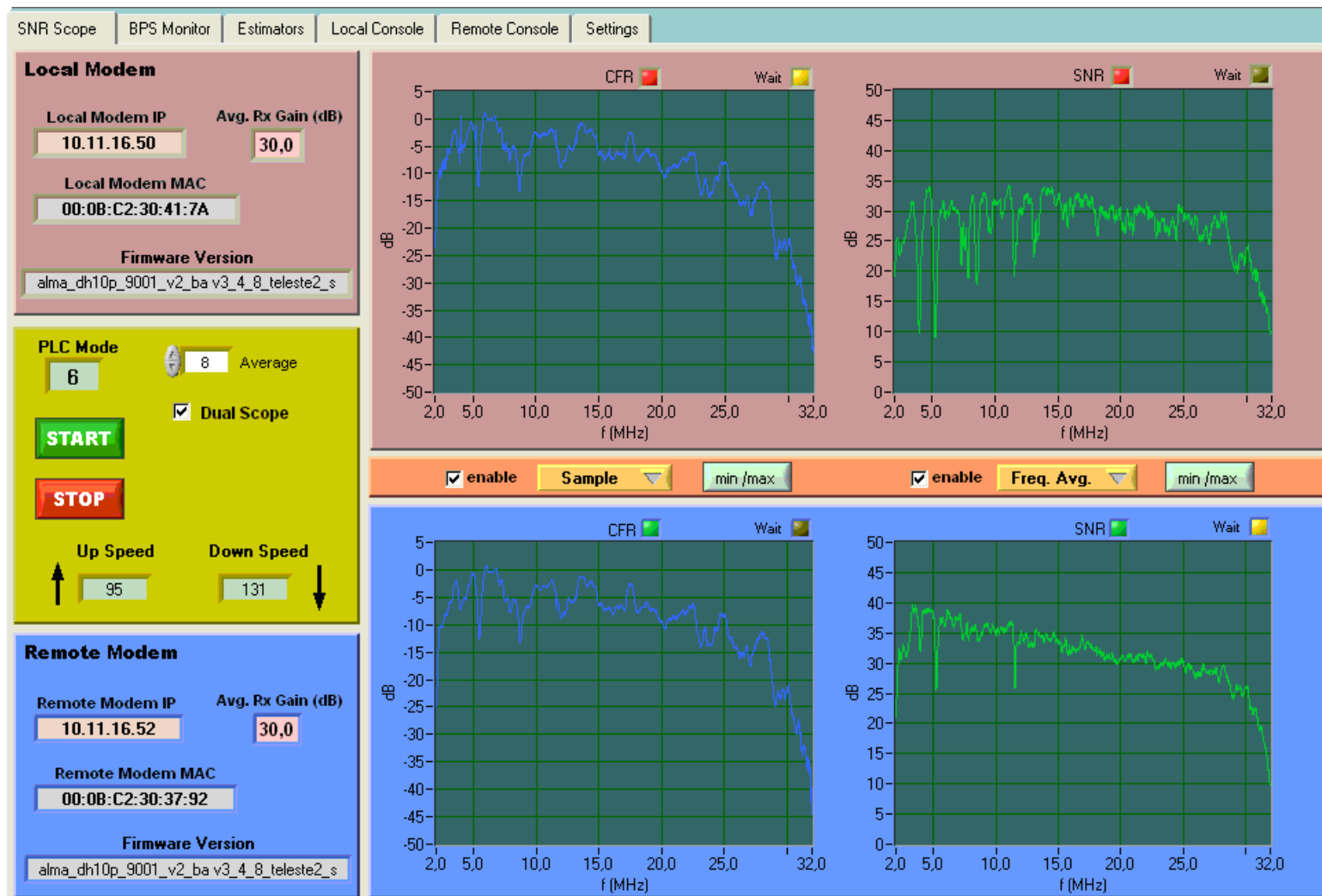
[Change configuration](#)

Available PLC Connections				
PLC Port	MAC Address	Phy Tx Throughput	Phy Rx Throughput	Bridge State
9	000BC2304A3A	25 Mbps	41 Mbps	Forwarding

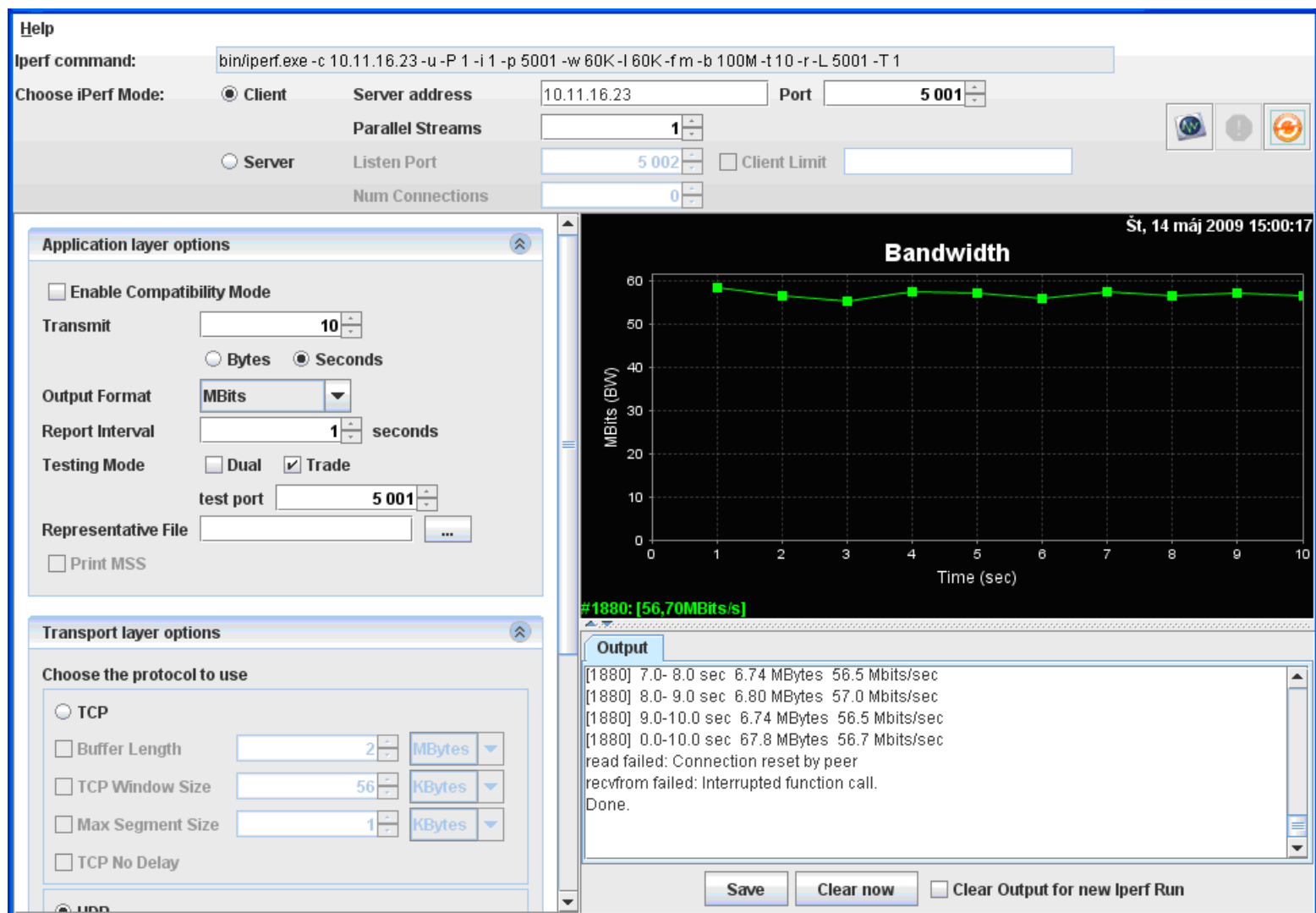
[Change configuration](#)

Security Status	
Status	Password is currently installed

Obr. 31: Ukážka konfigurácie a určenie niektorých parametrov PLC zariadenia



Obr. 32: Ukážka grafického rozhrania aplikácie SNR Scope



Obr. 33: Ukážka grafického rozhrania aplikácie Iperf

## **PRÍLOHA D: Mapa káblovej a dátovej siete obce Branč**